

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Technische Universität Darmstadt



MITTEILUNGEN

Heft 153

2017

Helmfried Dietsch

**Entwicklung des Mekong in eine bedeutende internationale
Schiffahrtsstraße**

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Universität Darmstadt



**Entwicklung des Mekong in eine
bedeutende internationale Schifffahrtsstraße**

Vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation von
Dipl.-Ing. Helmfried Dietsch
aus Chiang Mai / Thailand

1. Prüfer: Prof.em. Dr.-Ing. habil. U.C.E. Zanke
2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. B. Lehmann

Tag der Einreichung: 22. Februar 2016
Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juni 2016

Darmstadt, im Januar 2017

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2017

D17

Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Technischen Universität Darmstadt; Heft 153

Diese Mitteilungsreihe hat zwei Wurzeln:

- die **“Wasserbau-Mitteilungen”** (41 Hefte), begründet 1966 von Prof. Dr.-Ing. Friedrich Bassler, später fortgeführt von Prof. Dr.-Ing. Josef Mock,
- die **“Technischen Berichte über Ingenieurhydrologie und Hydraulik”** (54 Hefte), herausgegeben seit 1965 von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Otto Kirschmer, später fortgeführt von Prof. Dr.-Ing. Ralph C. M. Schröder und Prof. Dr.-Ing. Manfred Ostrowski.

Mit dem Dienstantritt von Prof. Dr.-Ing. Ulrich Zanke als Nachfolger von Prof. Mock sind diese beiden Reihen zusammengeführt worden. Die zwei Fachgebiete des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft

- Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
- Wasserbau und Hydraulik

dokumentieren damit auch nach außen ihre Zusammengehörigkeit. Die neue Nummerierung ergibt sich aus der Summe der Hefte beider Vorgängerreihen.

Die **“Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt”** erscheinen in unregelmäßiger Folge im Eigenverlag des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Ein Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Geschäftsführenden Institutsdirektors gestattet.

(ISSN 1430-3434)

FG Ingenieurhydrologie
u. Wasserbewirtschaftung
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
Tel.: 0 61 51/16 20860

FG Wasserbau und Hydraulik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
Tel.: 0 61 51/16 21165

E-Mail: feldmann@ihwb.tu-darmstadt.de

E-Mail: wabau@wb.tu-darmstadt.de

Aktuelle Informationen über das Institut und seine Lehrangebote finden Sie im World Wide Web unter: <http://www.iww.tu-darmstadt.de>

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann (Wasserbau und Hydraulik)
Prof. Dr. habil. Britta Schmalz (Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung)

Vorwort

Der Mekong ist einer der großen Flüsse unserer Welt. Aus dem Himalaya (Tibet) kommend passiert er zunächst China, dann, z.T. als Grenzfluss, Myanmar (Burma), Laos, Thailand, Kambodscha und mündet schließlich in Vietnam ins Meer. Der Mekong ist knapp 5 000 km lang und besitzt auf der langen Strecke sehr unterschiedliche Schiffbarkeiten.

Dr.-Ing. Dietsch hat sich in seiner Dissertation eingehend mit dem etwa 800 km langen Abschnitt zwischen Simao in China und Luang Prabang in Laos befasst und erarbeitet einen umfassenden Überblick über den gesamten Fluss hinsichtlich seiner hydrologischen und navigatorischen Eigenschaften und der politischen Randbedingungen.

Für eine durchgehende Schifffahrt mit wirtschaftlichen Schiffsgrößen müssen viele Teilstrecken des Mekong ausgebaut werden. Zwar ist der Fluss ein wesentlicher potentieller Verkehrsträger, jedoch muß die Frachtschifffahrt seit neuerer Zeit mit einem Ausbau von Fernstraßen und Schienenwegen konkurrieren.

Herr Dietsch hat sich mit seiner Arbeit zur Aufgabe gesetzt, unter Berücksichtigung des Gesamtkontextes eine Analyse zur möglichen Entwicklung der Schifffahrt auf der Strecke zwischen Simao in China und Luang Prabang in Laos zu liefern. Innerhalb dieses Abschnittes wäre nach Inbetriebnahme der geplanten, sämtlich mit Schifffahrtsschleusen versehenen Dämme im weiter oberstrom gelegenen Teil die Strecke zwischen Chiang Saen und Chiang Khong das letzte Hindernis für eine ganzjährige Schifffahrt von China bis zum Meer. Dietsch kommt bei seinen Analysen zu dem Ergebnis, dass dieser Abschnitt offen für flussbauliche Maßnahmen wäre.

Hauptaufgabe der Modellierungen war es, kritische Flussabschnitte zu erkennen, Maßnahmen zur Verbesserung zu planen und zu zeigen, dass die Wirkung dieser Planungen auf das Flussregime mit verschiedenen Modellläufen herausgearbeitet werden kann. Für die Modellierungen hat Dr.-Ing. Helmfried Dietsch das quasi3D-morphodynamisch-numerische Simulationssystem TIMOR3 eingesetzt. Zunächst hat er umfangreiche Vorstudien zur Herstellung eines naturähnlichen sedimentologischen Zustandes der Flusssohle ausgeführt. Dies ist von sehr hohem Stellenwert, denn eine unnatürliche Zusammensetzung der Sohlensedimente würde eine unnatürliche Mobilität der Sohle zur Folge haben und zu unnatürlichen Erosionen und Auflandungen führen. Im günstigsten Fall liegen Sedimentkartierungen vor. Dies war nicht in ausreichendem Maße gegeben und Herr Dietsch hat daher umfangreiche Korn-Einrechnungen durchgeführt. Hierbei wird zunächst eine Vorausschätzung vorgenommen, die auf der Hjulströmkurve basiert und wenigstens eine grobe Kenntnis über den Sedimentfundus voraussetzt. Diesen Fundus hat Dietsch u.a. mit eigens von ihm ausgeführten Messungen bereitgestellt. Anschließend hat er morphodynamische Einrechnungen vorgenommen. Dabei läuft im Modell eine hydraulische Sortierung ab. Man muss sich das so vorstellen, dass z.B. in stark von der Strömung belasteten Bereichen die feinen Sedimente selektiv ausgewaschen werden und sich an der Sohle daher grobes Sediment anreichert, wodurch die lokale Erodierbarkeit herabgesetzt wird, bis das Strömungsklima im Gleichgewicht mit der Erosivität steht. Erst dann konnte mit den eigentlichen Untersuchungen begonnen werden. Eingangs der morphodynamisch-numerischen Modellversuche

hat Dietsch anhand mehrerer Flußabschnitte gezeigt, dass das Modell naturähnlich arbeitet. Vergleichskriterium war die dynamische Stabilität der Untersuchungsbereiche, in denen das Modell trotz ständiger Sedimentbewegung die vorhandene Sohlenform bestätigte. Danach konnten dann verschiedene Eingriffe in die Modelltopographie vorgenommen und Erkenntnisse über deren Wirkung und Nachhaltigkeit gewonnen werden.

Die Arbeit endet mit einem Ausblick, in dem Dr. Dietsch nochmals herausstellt, dass nach Inbetriebnahme der geplanten oder im Bau befindlichen, sämtlich mit Schifffahrtsschleusen versehenen Dämme, der Abschnitt zwischen Chiang Saen und Chiang Khong das letzte Hindernis, neben den Khone Wasserfällen, für eine ganzjährige Schifffahrt von China bis zum Meer wäre. Dies ist genau der Abschnitt, den Dr.-Ing. Dietsch ins Zentrum seiner Arbeit gestellt hat.

Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Ulrich Zanke
Hannover-Garbsen, Dezember 2016

Für Rachel, Johanna und Christopher.

Danksagung

Diese Arbeit wurde als Dissertation bei dem Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Technische Universität Darmstadt im Februar 2016 eingereicht.

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Ulrich Zanke für sein entgegengebrachtes Vertrauen, die fachliche Betreuung und die Übernahme des Erstreferates bedanken. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann für alle Unterstützung und für die Übernahme des Korreferates. Mein Dank gilt auch Herrn PD Dr.-Ing. habil. Peter Mewis für seine langjährige Unterstützung, insbesondere bei numerischen Fragestellungen und der Anwendung des Programms Timor3. Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr.-Ing. Karl-Dankwart Kummer für alle wertvollen Hinweise zu meiner Arbeit.

Den Mitarbeitern des Fachbereiches Bauingenieurwesens der Chiang Mai University (Thailand) danke ich für die Hilfe bei der Datenbeschaffung von relevanten thailändischen Behörden, wobei mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr. Yongyuth Sukvanachaikul gilt. Den Behörden danke ich für die Bereitschaft, mir die benötigten Daten zur Verfügung zu stellen.

Beim Asien International River Center der Yunnan University (China) bedanke ich mich für die Möglichkeit mehrerer Forschungsbesuche am Institut in Kunming.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt danke ich für das freundliche und kollegiale Miteinander während meiner Forschungsaufenthalte in Darmstadt.

Abstract

At nearly 5 000 km long, the Mekong River is the world's twelfth longest river, and with a mean discharge of about 15 000 m³/s at its estuary into the Pacific, among the twenty largest rivers on earth. Originating in the Himalayas, it flows through the countries China, Myanmar, Laos, Thailand, Cambodia and Vietnam.

This dissertation focuses on the approximately 800 km long river section between the harbour of Simao, China and the city of Luang Prabang, Laos. Throughout the 20th century the geopolitical situation has greatly subdued the area's formerly active trade. However, the economic opening of China in the last quarter of the last century changed the situation and made international navigation in this section of the Mekong possible. Free trade agreements between China and Thailand soon followed and are supporting the flourishing trade, particularly in the agricultural sector. River ports are busy during the rainy season and freighters on the Mekong are a common sight. In the last several years the size of the freighters has steadily increased, from 80 DWT at the end of the 20th century to currently 400 DWT. Freighters of 500 DWT will leave Chinese shipyards soon. This increase in vessel size immediately followed the enlargement of the navigation channel which was accomplished by blasting of rocks in the river channel, improving the navigability of the river section between China and Thailand tremendously. The construction of dams in the Upper Mekong, known as the Upper Mekong Dam Cascade, has already changed the flow pattern of the Mekong River. Once the filling of the reservoirs is complete, the alteration will be even more pronounced. The flow pattern in the Upper Mekong is now regulated by the dams - the normally high flow during the monsoon season has been reduced, and the low flow during the dry season has been increased. This lessening of the seasonal differences in flow pattern has already begun to have a (positive) impact on navigability.

However, plans to improve the river channel further until Luang Prabang in Laos have been halted. Design, implementation and financing for the previously completed river improvement work came mainly from China, and the same will apply for the river section in Laos. The impacts of the Upper Mekong Dam Cascade on the river morphology downstream and especially on the sediments can already be clearly observed. The 2013 inauguration of a bridge across the Mekong between Laos (Houay Xay) and Thailand (Chiang Khong) completed the section of the Asian Highway AH3 connecting China to Thailand. This brings road transport into direct competition with transport on the Mekong River. Planned construction of dams in the lower Mekong will fundamentally improve the navigation of the Mekong as the reservoirs will increase the water level considerably, submerging the navigation obstacles. The start of the backwater for the most upstream dam, the Pak Beng Dam will be just downstream of Chiang Khong. This will make the yet undeveloped 70 km long Thai/Laotian section of the Mekong between the Ruak River and the city of Chiang Khong one of the last obstacles for commercial navigation on the Mekong from China until the Pacific Ocean.

This dissertation discusses a holistic approach to the development of the river's navigation, the existing and planned transportation infrastructure as well as the trade development in the region. The possible changes

to the flow characteristic of the Mekong after the implementation of the Upper Mekong Dam Cascade and its impact on the flow, sediments and navigation were analysed. The flow data in the yearbooks from the gauging station Chiang Saen show considerable flow - water level ratio inconsistencies between the years 2000-2010, which are likely due to incorrect discharge measurements. By comparative calculation with historic flow data, these inconsistencies were corrected. As existing bathymetrical maps were found insufficient to provide meaningful results, a complete sonar survey of the 70 km long river section between Sop Ruak and Chiang Khong was conducted. By overlaying the measured river bed data with existing topographical maps a reliable bathymetric map was generated. The transition zones between measured and existing data were reproduced surprisingly well. Sediment samples were taken from the river and analysed. Additionally, dives were conducted to obtain bed load samples from the river bed. The numerical software Timor3, developed by Zanke [1994], further advanced and utilized for more than 20 years at the Technische Universität Darmstadt, was applied for hydrodynamic and morphodynamic simulations to assess navigation obstacles and to analyse the impact of hydro-engineering measures at several locations which are critical for navigation. Positive correlations could be determined between the river flow and the necessary immersion depth for unhindered navigation. A long term morphodynamic simulation for the flow over one year was conducted.

In the frame of this dissertation, comprehensive and independent hydrodynamic and morphodynamic research was conducted for the first time for this river section, as well as well-grounded analyses of measures needed for the improvement of the river's navigation. The discussion of the trade development and the transport infrastructure showed that there is no imminent need and no clear economical benefit to pursue the development of the river section between Sop Ruak and Chiang Khong until the dams in the lower Mekong are implemented. It was found that a minimum flow of 2 000 m³/s can be maintained at the Chiang Saen gauging station year-round if the operation of the Upper Mekong Dam Cascade maintains adequate output for the purpose of navigation on the Mekong. It was shown that even with a minimum flow of 2 000 m³/s, additional to the planned blasting works in the bedrock sections of the river, selective dredging works in the alluvial sections are necessary to develop this river section into a international waterway. It was found that Timor3 is highly sensitive to variations in initial input of estimated sediment grain size distribution on the river bed. Timor3 is mostly utilised for research in coastal areas. However, it was demonstrated that Timor3 is also suitable for the use in river morphologic and hydro-engineering applications.

Kurzfassung

Der Mekong ist mit einer Länge von fast 5 000 km der zwölftlängste Fluss der Welt und mit einem mittleren Abfluss von etwa 15 000 m³/s bei seiner Mündung in den Pazifik, gehört er zu den zwanzig abflussreichsten Flüssen der Erde. Er entspringt im Himalaya und fließt durch die Länder China, Myanmar, Laos, Thailand, Kambodscha und Vietnam.

Diese Dissertation beschäftigt sich mit dem etwa 800 km langen Abschnitt des Mekong zwischen dem Hafen Simao in China und der Stadt Luang Prabang in Laos. Aufgrund der geopolitischen Situation im 20. Jahrhundert kam der einst rege Handel in diesem Gebiet für längere Zeit zum Erliegen. Dies änderte sich mit der Öffnung Chinas gegen Ende des letzten Jahrhunderts. Der Mekong wurde in diesem Bereich für die internationale Schifffahrt geöffnet und Freihandelsabkommen zwischen China und Thailand fördern, insbesondere im landwirtschaftlichen Sektor, den Handel. Die Flusshäfen in China und Thailand sind während der Regenzeit stark frequentiert und Frachtschiffe gehören auf dem Mekong zum alltäglichen Bild. Dabei ist in den letzten Jahren die Größe der Frachter stetig gewachsen. Von 80 DWT zum Ende des 20. Jahrhunderts, sind mittlerweile 400 DWT in diesem Flussabschnitt üblich und 500 DWT Containerschiffe sind in chinesischen Werften im Bau. Diese Entwicklung wurde durch Sprengungen im Flussbett des Mekong zwischen China und Thailand zur Vergrößerung der Fahrrinne möglich und führte zu einer enormen Verbesserung der Schiffbarkeit. Der Bau und Betrieb von Talsperren im chinesischen Abschnitt des Mekong, die sogenannte obere Mekongdammkaskade, hat bereits das Fließverhalten des Mekong verändert und wird dies in Zukunft, nach kompletter Füllung der Talsperren, in noch stärkerem Maße tun. Dadurch wird im oberen Abschnitt des Mekong regulativ in das Abflussverhalten des Flusses eingegriffen - die hohen Abflüsse während des Monsun werden reduziert und die Niedrigwasserabflüsse während der Trockenperiode erhöht. Die Abschwächung der saisonalen Unterschiede im Abflussverhalten des Mekong beginnt bereits positive Auswirkungen auf die Schifffahrt zu haben.

Allerdings wurde die Durchführung strombaulicher Maßnahmen im weitere Verlauf des Mekong bis zur Stadt Luang Prabang in Laos verhindert. Planung, Implementierung und Finanzierung für die bereits durchgeführten Maßnahmen kam zum größten Teil von China. Dies wird ebenso der Fall für die weiteren geplanten Maßnahmen sein. Die Auswirkungen der bereits implementierten Dämme auf die Morphologie und insbesondere auf das Feststoffkontinuum lassen sich bereits eindeutig quantifizieren. Die Fertigstellung der neuen Brücke über den Mekong zwischen Laos (Houay Xay) und Thailand (Chiang Khong) im Jahr 2013 und damit die Lückenschließung der Asiatischen Fernstraße AH3 zwischen China und Thailand, bringt den Gütertransport auf der Straße in direkte Konkurrenz zu dem Transport auf dem Mekong. Weiterhin wird der Bau von Staudämmen im unteren Abschnitt des Mekong die Situation für die Schifffahrt durch das Entstehen von Stauseen grundlegend verändern. Die Stauwurzel des obersten Dammes, des Pak Beng Dammes, wird bis fast zur thailändischen Stadt Chiang Khong reichen. Dadurch wird der 70 km lange

thailändisch-laotische Abschnitt des Mekong zwischen Sop Ruak und Chiang Khong zu einem der letzten Haupthindernisse für die Schifffahrt von China bis zur Mündung in den Pazifik.

Diese Dissertation untersucht die Entwicklung der Schifffahrt, des Handels und der vorhandenen und geplanten Verkehrswegenetze in der Region. Mögliche Veränderungen des Abflussverhaltens nach Implementation der oberen Mekongkaskade wurden analysiert und der Einfluss auf die Schifffahrt wurde untersucht. Die in den gewässerkundlichen Jahrbüchern aufgeführten Abflusswerte für die Pegelstation Chiang Saen zeigen in hohem Maße Inkonsistenzen (Verhältnis Wasserstand zu Abflussvolumina), die augenscheinlich auf fehlerhaften Messungen beruhen. Durch Vergleichsrechnungen konnten die Messwerte zwischen den Jahren 2000 und 2010 korrigiert werden. Vorhandene Flusskarten für den untersuchten Abschnitt des Mekong erwiesen sich als nicht hinreichend detailliert. Daher wurde im Rahmen dieser Dissertation das Flussbett im gesamten 70 km Flussabschnitt mit einem Sonargerät vermessen. Durch Überlagerung der gemessenen Sohlthiefen mit vorhandenen topographischen Geländekarten für die Ufer, konnte eine umfangreiche und gute Datengrundlage erhalten und basierend darauf eine detaillierte bathymetrische Karte erstellt werden. Die Übergangsbereiche gemessener und vorhandener Daten wurden dabei erstaunlich gut abgebildet. Ebenfalls im Rahmen dieser Dissertation wurden Sedimentproben genommen und analysiert. Zusätzlich durchgeführte Tauchgänge mit Probennahmen von der Flusssohle ergänzten die Datengrundlage. Das von Zanke [1994] entwickelte und seit über 20 Jahren am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Darmstadt für morphologische Simulationen eingesetzte und weiterentwickelte Programm Timor3 wurde für hydrodynamischen und morphodynamischen Simulationen verwendet. Basierend auf den gewonnenen Daten wurden Simulationen mit Timor3 für verschiedene strombauliche Szenarien durchgeführt. Zwischen Abfluss und notwendigen Eintauchtiefen des Schiffskörpers für eine ungehinderte Navigation konnten Korrelationen ermittelt werden. Simulationen wurden durchgeführt, um die Auswirkung strombaulicher Maßnahmen bei mehreren, für die Schifffahrt kritischen, Flussabschnitten zu analysieren. Eine morphologische Langzeitsimulation für den Abflusszeitraum von einem Jahr wurde durchgeführt.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden zum ersten Mal in diesem Abschnitt des Mekong umfassende und unabhängige hydrodynamische und morphodynamische Untersuchungen und Simulationen, sowie eine fundierte Analyse zur Verbesserung der Schifffahrt durchgeführt. Die Untersuchung zur Entwicklung des Handels und des Verkehrswegenetzes zeigte, dass es keinen dringenden Bedarf und aus ökonomischer Sicht keine Vorteile bringt, den Flussabschnitt zwischen Sop Ruak und Chiang Khong vor der Implementierung der Staudämme in unteren Bereich des Mekong auszubauen. Es wurde gezeigt, dass ein ganzjähriger Mindestabfluss von 2 000 m³/s an der Pegelstation Chiang Saen, bei entsprechendem Betrieb der Dämme im oberen Mekong zum Nutzen der Schifffahrt, möglich ist. Dabei wurde deutlich, dass zusätzlich zu den bereits geplanten Sprengungen im Bereich der felsigen Abschnitte, gezielte Ausbaggerungen in alluvialen Flussbereichen notwendig sind, um den Mekong bei einem Mindestabfluss von 2 000 m³/s ganzjährig für Schiffe der Klasse IV nach der Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen schiffbar zu machen. Die gute Eignung des Programmes Timor3 zum Einsatz für flussmorphologische und strombauliche Fragestellungen konnte nachgewiesen werden. Das Programm Timor3 zeigte eine hohe Sensibilität für die geeignete Schätzung der Korngrößenverteilung der Sedimente im Flussbett vor Beginn der morphodynamischen Simulationen. Obwohl Timor3 bisher zumeist im Küstenbereich eingesetzt wurde, so konnte doch die Eignung auch für die Anwendung für hydrodynamische und morphologische Fragestellungen für Fließgewässer gezeigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Zielsetzung	1
2	Die Wasserstraße Mekong im Kontext der Region	5
2.1	Untersuchung zur Entwicklung der Schifffahrt	5
2.1.1	Schifffahrt vor dem 19. Jahrhundert	5
2.1.2	Schifffahrt unter französischem Einfluss	5
2.1.2.1	Französische Mekongexpedition 1866-1868	5
2.1.2.2	Erste strombauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt	9
2.2	Internationale Studien zur Entwicklung des Mekong Flussgebietes	10
2.2.1	Mekong Erkundungsstudie erstellt unter US Leitung 1955-1956	10
2.2.2	ECAFE Studie 1956	11
2.2.3	Wheeler Bericht 1957-58	12
2.2.4	Mekong Indikativer Stromgebietsplan 1970	13
2.3	Beginn der kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong	14
2.3.1	Erkundungsexpedition von China, Laos, Myanmar und Thailand 1993	15
2.3.2	Abkommen zur freien Navigation auf dem Lancang-Mekong 1994	16
2.3.3	Studie des Mekong Sekretariat zur Navigation auf dem Lancang-Mekong 1994 . . .	16
2.3.4	Die Neugründung der Mekong Kommission 1995	17
2.3.5	Abkommen zur kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong 2000	18
2.3.6	Durchführung strombaulicher Maßnahmen zur Verbesserung der Navigation . . .	19
2.3.7	Implementierungsstopp weiterer strombaulicher Maßnahmen	21
2.4	GMS Programm der asiatischen Entwicklungsbank	21
2.5	Mekong Dammkaskaden	22
2.5.1	Die Obere Lancang Dammkaskade	24
2.5.2	Die Untere Lancang Dammkaskade	24
2.5.3	Die Mekong Dammkaskade	25
3	Grundlagenermittlung im Projektgebiet	28
3.1	Identifikation und Auswahl eines Projektgebietes	28
3.2	Verkehrswegenetz in der Lancang-Mekongregion	30
3.3	Gewässerentwicklung	33
3.3.1	Veränderung des Flusslaufes in historischer Zeit	33
3.3.2	Flusslaufveränderungen in den vergangenen sechzig Jahren	35
3.4	Vorhandene Flusskarten	36
3.4.1	Hydrographischer Atlas MRC 1996	36

3.4.2	Navigationskarten des JCCCN 2006	38
3.5	Hydrologische und sedimentologische Situation	38
3.5.1	Wasserstände und Abflüsse	38
3.5.1.1	Pegelstation Jinghong	38
3.5.1.2	Pegelstation Chiang Saen	39
3.5.1.3	Diskussion der vorliegenden 3 mal täglich abgelesenen Pegeldaten	44
3.5.2	Veränderung des Abflussverhaltens durch die Lancang Dammkaskade	44
3.5.2.1	Die Berechnung der Einzugsgebiete	45
3.5.2.2	Quantifizierung des Mekongabflusses nach der Jinghong Talsperre	48
3.5.3	Sedimentfrachten	49
3.5.3.1	Analyse der vorliegenden historischen Sedimentfrachten	49
3.5.3.2	Entnahme und Analyse von Sedimentproben	50
3.6	Schifffahrt zwischen China und Thailand	54
3.6.1	Entwicklung des Schiffsverkehrs	54
3.6.2	Abmessungen von Schiffen und Schiffsverbänden	59
3.6.3	Durchgeführte Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt	59
4	Erstellung einer bathymetrischen Karte des Mekong im Projektgebiet	62
4.1	Darstellung möglicher Verfahren zur Tiefenmessung	62
4.2	Darstellung möglicher Verfahren zur Georeferenzierung	63
4.3	Sonargerät zur Durchführung der Messungen	63
4.4	Entwicklung und Optimierung einer Messeinrichtung	65
4.5	Einrichtung zusätzlicher Flusspegel und Einmessung aller Pegel	66
4.6	Durchführung der Sonarmessungen	68
4.7	Aufbereitung der Rohdaten	69
4.8	Messung des Wasserspiegels an allen Pegelstationen	72
4.9	Umlegen der Kanten	73
4.10	Analyse der erzeugten bathymetrischen Flusskarte	73
4.10.1	Darstellung der Uferbereiche	73
4.10.2	Alluviale Flussabschnitte	74
4.10.3	Felsige Flussabschnitte	74
4.10.4	Pools	75
5	Hydro- und Morphodynamische Simulation mit dem numerischen Model TIMOR	77
5.1	Verfahren zur Beschreibung von hydrodynamischen und morphologischen Vorgängen . .	77
5.2	Mathematisch-numerische Modelle	77
5.3	Vorbemerkungen zu dem Programm TIMOR	78
5.3.1	Bodenevolutionsgleichung	78
5.3.2	Transportgleichungen für Geschiebe	79
5.3.3	Suspension, Sedimentdispersion und Hangabwärtstrieb	80
5.3.4	Bodenmodell (Fraktionierter Transport)	80
5.3.5	Sedimenttransportpfade	81

5.4	Hydrodynamische Simulation	81
5.4.1	Erstellen eines Gitternetzes	81
5.4.2	Steuerung des Modells	82
5.4.3	Kalibration und Validation des Modells	82
5.4.4	Generierung einer Abflussganglinie	84
5.5	Untersuchungen zur Schiffbarkeit im Projektgebiet	87
5.5.1	Bereits durchgeführte Untersuchungen	87
5.5.2	Untersuchungen basierend auf der generierten bathymetrischen Karte	88
5.6	Identifikation kritischer Flussabschnitte bezüglich der Navigation	90
5.6.1	Untiefen bei einem Abfluss von $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$	93
5.6.2	Untiefen bei einem Abfluss von $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	93
5.7	Verbesserung der Navigation durch Flussvertiefung	95
5.8	Morphologische Simulation	95
5.8.1	Morphologisches Einrechnen	95
5.8.2	Entrainment Faktor und Suspensionsfracht	100
5.8.3	Durchführung und Auswertung der morphodynamischen Simulationen	102
5.8.3.1	Morphologische Simulation zur Analyse der vorgeschlagenen Flussvertiefungen	102
5.8.3.2	Morphologische Langzeitsimulation für das Projektgebiet	103
6	Der Mekong als bedeutende internationale Schifffahrtsstraße. Ein Ausblick.	111
	Anhang	114
A	Entwicklung des Mekongverlaufes bei Chiang Saen	115
B	Korrigierte Abflusswerte für die Jahre 2006 und 2008	119
C	Bathymetrische Karte	122
D	Darstellung der Untiefen im Flussabschnitt Sop Ruak - Chiang Khong	131
D.1	Ergebnisse der Simulation mit $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$	131
D.2	Ergebnisse der Simulation mit $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$	141
E	Darstellung morphodynamischer Simulationsergebnisse	149
	Bildnachweis	166
	Literaturverzeichnis	169

Abbildungsverzeichnis

1.1	Mekonggebiet von Yunnan bis zum Delta in Vietnam	2
2.1	Der Mekong zwischen Luang Prabang und Vientiane im Juni 2010	7
2.2	Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong	19
2.3	Fertiggestellte und geplante Dämme im Mekong sowie Einzugsgebiete nach Ländergrenzen	23
3.1	Gebiet des Lancang-Mekong	29
3.2	Projektgebiet	30
3.3	Der Mekong bei Chiang Saen	35
3.4	Mae Kham im Jahr 1954	35
3.5	Mae Kham im Jahr 2002	35
3.6	Änderung der Uferlinie zwischen den Jahren 1954 und 2014	37
3.7	MRC Hydrographischer Atlas (links) und Navigationskarte des JCCCN (rechts)	38
3.8	Abflüsse beim Pegel Jinghong während der Monsunzeit	39
3.9	Entnahmestellen von Sedimenten und Bodenfracht	40
3.10	Abfluss in Abhängigkeit zum Pegelstand bei Chiang Saen basierend auf Jahrbuchdaten . .	41
3.11	Gemittelte Abflusskurve für die Jahre 2001 bis 2010	42
3.12	Jahresabflüsse des Mekong bei Chiang Saen	42
3.13	Niedrigwasserabflüsse des Mekong bei Chiang Saen	42
3.14	Hochwasserabflüsse des Mekong bei Chiang Saen	43
3.15	Abflussminima und -maxima für den Zeitraum 1966-2012	43
3.16	Unterschreitungswahrscheinlichkeit	44
3.17	Überschreitungswahrscheinlichkeit	44
3.18	Wasserstände für das Jahr 2007 an vier Pegelstationen	45
3.19	Ermittlung der Einzugsgebiete der Nebenflüsse des Mekong zwischen der Talsperre Nuozhadu und Chiang Khong	46
3.20	Einzugsgebiet des Mekong zwischen Nuozhadu Talsperre und Chiang Khong	47
3.21	Anteil des im Einzugsgebietes stromabwärts von Jinghong bis zum Goldenen Dreieck ge- nerierten Abflusses am Gesamtabfluss des Mekong bei Chiang Khong	48
3.22	Mögliche Regulierung des Abflusses nach Fertigstellung der Dämme in China	49
3.23	Boot und Messflügel USD 96 zum Messen der Sedimente	50
3.24	Partikelkonzentrationen im Jahresmittel (1963 bis 2010) bei der Pegelstation Chiang Saen .	50
3.25	Sedimentproben aus dem Mekong (links) und Bedload (rechts)	51
3.26	Korngrößenverteilung der Sedimentproben	52
3.27	Logarithmische Korngrößenverteilung	53

3.28	Laotische und burmesische Frachtschiffe	54
3.29	Chinesische Frachter	54
3.30	Anzahl der Schiffsankünfte im Hafen Chiang Saen zwischen 2004 und 2014	56
3.31	Frachter nach Flaggenstaat	56
3.32	Warenexporte von Chiang Saen und Chiang Khong nach China	58
3.33	Warenimporte von China nach Chiang Saen und Chiang Khong	58
3.34	Frachtaufkommen im Hafen Chiang Saen	59
4.1	Sonargerät und Zubehör zur Durchführung der Tiefenmessungen	64
4.2	Befestigung des Sonars am Bug des Bootes	66
4.3	Lage der Pegel	67
4.4	Messungen im Frühjahr 2009 (Trockenzeit)	68
4.5	Messungen im Herbst 2010 (Monsunzeit)	68
4.6	Anzeige auf dem Monitor des Gerätes bei Aufnahme der Querprofile	69
4.7	Nachbearbeitung Draufsicht	70
4.8	Nachbearbeitung Schnitt	70
4.9	Eintauchtiefe der Geberstange in Abhängigkeit zur Bootsgeschwindigkeit	71
4.10	Wasserspiegellinie Sop Ruak - Chiang Khong an zwei unterschiedlichen Messtagen	72
4.11	Vor (links) und nach Umlegen der Kanten (rechts)	73
4.12	Ursprünglich (links) und nach Umlegen der Kanten sowie Korrektur der Höhen im Bereich der Felsen(rechts)	73
4.13	Einfügen der Querprofile in vorhandene Topographiekacheln	74
4.14	Interpolationsbereiche bei den Uferbereichen	74
4.15	Flusstiefen und tiefste Linie beim Hafen Chiang Saen II (bei $Q=6\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	75
4.16	Pool im Mekong bei Ban Saeo	76
5.1	Dreidimensional in Schichten und Fraktionen aufgelöster Modellboden	80
5.2	Schematische Darstellung des Bodenmodells	80
5.3	Gitternetz und Darstellung der Höhen	82
5.4	Unterschiedliche Rauigkeitsparameter	83
5.5	Kalibrierung Rauigkeitsparameter	84
5.6	Abfluss zwischen dem 26. August und 25. September 2010	84
5.7	Gemessene und simulierte Pegelstände (1/2)	85
5.8	Gemessene und simulierte Pegelstände (2/2)	86
5.9	Schiffbare Flusslänge in Abhängigkeit zum Abfluss	89
5.10	Bemessungsquerschnitt für Begegnungsverkehr	90
5.11	Bestimmung der Kurvenradien im Projektgebiet	92
5.12	Übersicht über Bereiche, die die Navigation bei $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern	94
5.13	Übersicht über Bereiche, die die Navigation bei $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern	94
5.14	Vertiefung der Flusssohle (Links:Originalzustand, Rechts: modifizierte Flusssohle)	95
5.15	Korneinrechnung mit Vorkorn (links), anschließend mit Timor (rechts); Q jeweils $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$	97
5.16	Korneinrechnung mit Vorkorn (links), anschließend mit Timor (rechts); Q jeweils $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$	97

5.17	Flussbetthöhen nach der Simulation ($t=10$, $EF=0,5$; links Korngrößen mit Faktor 15 reduziert)	98
5.18	Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vorkorn2 und Timor3 mit jeweils $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$, Abfluss 30 Tage 2010)	99
5.19	Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vorkorn2 und Timor3 mit jeweils $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$, Abfluss 30 Tage 2010)	99
5.20	Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vorkorn2 und Timor3 mit jeweils $9\,000\text{ m}^3/\text{s}$, Abfluss 30 Tage 2010)	100
5.21	Flussquerschnitt bei der SSC Messstation	100
5.22	Ergebnis der SSC Simulation an fünf Auswertepunkten	101
5.23	Abhängigkeit SSC vom Abfluss für Messungen gemäß Jahrbüchern und Simulationen mit Timor	102
5.24	Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo	104
5.25	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo	105
5.26	Abfluss des Mekong vor Fertigstellung der Talsperren im Jahr 2006 - 2007	106
5.27	Differenzen ($t=0\text{ d} - t=58\text{ d}$)	107
5.28	Differenzen ($t=58\text{ d} - t=365\text{ d}$)	108
5.29	Simulationsergebnisse bei Ban Saeo	109
5.30	Ufererosion zwischen Ban Saeo und Ban Pong Khong	110
A.1	Luftbildaufnahme von 1954	116
A.2	Luftbildaufnahme von 1954 mit farbig markierten Altarmbereichen	116
A.3	Mekongabschnitt bei Chiang Saen vor 1926	117
A.4	Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 1954	117
A.5	Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 1977	117
A.6	Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2002	117
A.7	Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2008	118
A.8	Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2014	118
B.1	Abflussganglinien der Jahre 2006 und 2008	119
C.1	Übersicht über die Lage der bathymetrischen Karten im betrachteten Abschnitt des Mekong	122
C.2	Bathymetrische Karte für den Bereich Sop Ruak	123
C.3	Bathymetrische Karte für den Bereich Chiang Saen	124
C.4	Bathymetrische Karte für den Bereich Sop Kok	125
C.5	Bathymetrische Karte für den Bereich Pong Khong	126
C.6	Bathymetrische Karte für den Bereich Had Bai	127
C.7	Bathymetrische Karte für den Bereich Tha Hin	128
C.8	Bathymetrische Karte für den Bereich Gaeng Gai	129
C.9	Bathymetrische Karte für den Bereich Chiang Khong	130
D.1	Übersicht über die Bereiche die die Navigation bei $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern	131
D.2	Untiefen bei Koh Don Sao ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	132
D.3	Untiefen bei Chiang Saen ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	133

D.4	Untiefen bei Sop Kok ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	134
D.5	Untiefen bei Ban Saeo ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	135
D.6	Untiefen bei Pong Khong ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	136
D.7	Untiefen bei Had Bai ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	137
D.8	Untiefen bei Pha Khup ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	138
D.9	Untiefen bei Muang Kan ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	139
D.10	Untiefen bei Gaeng Gai ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	140
D.11	Übersicht über die Bereiche die die Navigation bei $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern	141
D.12	Untiefen bei Koh Don Sao ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	142
D.13	Untiefen bei Sop Kok ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	143
D.14	Untiefen bei Ban Saeo ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	144
D.15	Untiefen bei Pong Khong ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	145
D.16	Untiefen bei Had Bai ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	146
D.17	Untiefen bei Pha Khup ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	147
D.18	Untiefen bei Gaeng Gai ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	148
E.1	Übersicht über die modifizierten Flussbereiche	149
E.2	Ergebnisse für den Bereich Koh Don Sao	150
E.3	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Koh Don Sao	151
E.4	Ergebnisse für den Bereich Chiang Saen	152
E.5	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Chiang Saen	153
E.6	Ergebnisse für den Bereich Sop Kok	154
E.7	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Sop Kok	155
E.8	Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo	156
E.9	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo	157
E.10	Ergebnisse für den Bereich Pong Khong	158
E.11	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Pong Khong	159
E.12	Ergebnisse für den Bereich Had Bai	160
E.13	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Had Bai	161
E.14	Ergebnisse für den Bereich Pha Khup	162
E.15	Ergebnisse für den Bereich Muang Kan	163
E.16	Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Muang Kan	164
E.17	Ergebnisse für den Bereich Gaeng Gai	165

Tabellenverzeichnis

2.1	Obere Lancang Dammkaskade	24
2.2	Untere Lancang Dammkaskade	25
2.3	Mekong Dammkaskade	26
2.4	Ereignisse relevant zur Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong	27
3.1	Schiffbarkeit des Mekong zwischen einzelnen Häfen	28
3.2	Entfernungen zwischen den Städten	32
3.3	Vergleich von Transportkosten	33
3.4	Erosions- und Anlandungsflächen zwischen Sop Ruak und Chiang Khong	36
3.5	Abflussperzentile für den Zeitraum 1952 - 2012	43
3.6	Größe der Teileinzugsgebiete des Mekong zwischen Nuozhadu und Chiang Khong	46
3.7	Sieblinienanalyse der Bodenproben von Chiang Saen	51
3.8	Sieblinienanalyse der Bodenproben von Chiang Khong	52
3.9	Entfernungen zum Hafen Chiang Saen II	55
3.10	Frachterankünfte Chiang Khong	57
3.11	Fährankünfte Chiang Khong	57
3.12	Entwicklung der Importe und Exporte von Chiang Saen in verschiedene Regionen	57
3.13	Klassifikation der europäischen Binnenwasserstrassen und Schiffstypen	60
3.14	Gängige Schiffstypen auf dem Lancang - Mekong	60
4.1	Pegelstation	67
4.2	Auswertung der Sonarmesswerte	71
5.1	Von Ding [1993] und JEWG [2001] vorgeschlagene strombauliche Maßnahmen	87
5.2	Untersuchte Schiffstypen	88
5.3	Perzentile der schiffbaren Flusslänge für verschiedene Mindestfahrinnentiefen	89
5.4	Erforderliche Fahrrinnenbreite	91
5.5	Sedimenteingabedaten für die Morphologische Simulation mit Timor3	96
5.6	Korngrößen ermittelt durch Vorkorn (VK) und Timor Korneinrechnung (KE)	96
5.7	Eingabedaten für die Morphologischen Simulation mit Timor3	102
B.1	Hauptwerte der Jahresreihen bei der Pegelstation Chiang Saen	119
B.2	Jahrbuchabflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2006 in m ³ /s .	120
B.3	Modifizierte Abflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m ³ /s	120
B.4	Jahrbuchabflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m ³ /s .	121
B.5	Modifizierte Abflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m ³ /s	121

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
ADB	Asiatische Entwicklungsbank (Asian Development Bank)
AH	Asiatische Fernstraße (Asian Highway)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (vormals: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung)
DWRM	Thailändische Wasserbehörde (Department of Water Resources Management)
DWT	Zulässige Zuladung eines Schiffes (Deadweight Tonnage)
ECAFE	Wirtschaftskommission für Asien und den Fernen Osten (Economic Commission for Asia and the Far East)
EGNOS	Europäisches geostationäres Navigations Overlay System (European Geostationary Navigation Overlay System)
ESCAP	Wirtschafts- und Sozialkommission für Asien und den Pazifik (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)
GIS	Geographisches Informationssystem (Geographic Information System)
GMS	Mekong-Großregion (Greater Mekong Subregion)
GMS	Großmotorgüterschiff
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem (Global Positioning System)
HQ	Höchster Abflusswert in der betrachteten Zeitspanne
IBP	Indikativer Stromgebietsplan (Indicative Basin Plan)
IMC	Mekongübergangskomitee (Interim Mekong Committee)
JCCCN	Gemeinschaftskomitee zur Koordination der Handelsschiffahrt auf dem Lancang-Mekong (Joint Committee on Coordination of Commercial Navigation on the Lancang-Mekong River)
MONRE	Thailändisches Umweltministerium (Ministry of Natural Resources and Environment)
MPM	Meyer-Peter und Müller Transportgleichung
MQ	Mittlerer Abflusswert in der betrachteten Zeitspanne
MRC	Mekong Kommission (Mekong River Commission)
MSAS	MTSAT Satellite-Based Augmentation System - Ostasien
NAVSTAR-GPS	Navigation Satellite Timing and Ranging - GPS
NQ	Niedrigster Abflusswert in der betrachteten Zeitspanne
NRO	Nichtregierungsorganisation
n. a.	nicht angegeben bzw. nicht auswertbar
n.Chr.	nach Christus (Zeitrechnung)
PAT	Thailändische Hafenbehörde (Port Authority Thailand)
PRC	Volksrepublik China (Peoples Republic of China)
RTKGPS	Echtzeitkinematik GPS (Real-Time-Kinematik-GPS)

Abkürzung	Beschreibung
SSC	Konzentration der Suspensionsfracht (Suspended Sediment Concentration)
TWG	Technische Arbeitsgruppe (Technical Working Group)
UN	Vereinte Nationen (United Nations)
UNDP	Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Development Programme)
UTM	Globales Koordinatensystem (Universal Transverse Mercator)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WAAS	Erweiterungssystem zum globalen Positionsbestimmungssystem (Wide Area Augmentation System)
WGS	Globales Referenzsystem (World Geodetic System)
WSP	Wasserspiegel

Symbolverzeichnis

Symbol Beschreibung

a	Jahr
B	Gesamtbreite Fahrrinne
B ₁	Fahrspurbreite
B _{1K}	Fahrspurbreite in einer Kurve
B _F	Fahrrinnenbreite im Begegnungsverkehr
B _{FR}	Fahrrinnenbreite im Richtungsverkehr
B _{FK}	Fahrrinnenbreite im Begegnungsverkehr in einer Kurve
B _W	Wasserspiegelbreite Begegnungsverkehrsquerschnitte
B _{WR}	Wasserspiegelbreite Richtungsverkehrsquerschnitte
C _f	Fahrdynamische Konstante
d _m	mittlerer Korndurchmesser
d	Tag
E	Entrainment
Fr^*	FROUDE-Zahl des Kornes
g	Erdbeschleunigung
G^*	Transportgröße
k	Oberflächenrauigkeit
Mio.	Millionen
mon	Monat
m.ü.NN.	Höhe über dem Meeresspiegel (Meter über Normalnull)
q_t	transportiertes Volumen je Zeit- und Breitereinheit (inklusive Hohlräumen)
Q	Abfluss
r	Rauigkeitsparameter
R _i	Innerer Kurvenradius
S	Ausfällung
s _B	Abstand zwischen zwei Fahrspuren bei Begegnung
s _U	Sichtabstand zwischen Fahrspur und Ufer
s _S	Abstand zum Ufer in der maßgebenden Tauchtiefe
ton	Tonne
Tsd.	Tausend
u^*	Schubspannungsgeschwindigkeit
z	Höhenlage des Bodens
λ	Wellenlänge
ρ_w	Dichte des Wassers
ρ_s	Dichte des Sediments
ρ'	relative Dichte des Sediments $\rho' = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$

1 Einführung und Zielsetzung

Als mächtigster Strom Südostasiens fließt der Mekong von seiner Quelle im Himalaya bis zur Mündung in den Pazifik über eine Strecke von 4909 km (MRC [2010]) und durch die Länder China, Myanmar, Laos, Thailand, Kambodscha und Vietnam. In der Abbildung 1.1 ist eine Übersicht über den Verlauf des Mekong zwischen der chinesischen Provinz Yunnan und dem Flussdelta in Vietnam gegeben.¹ In dieser Karte sind alle für diese Arbeit relevanten Städte aufgeführt.

In Laos, Myanmar und Thailand wird der Fluss als Mekong bezeichnet, mit kleineren sprachlichen Unterschieden in der Schreibweise und Aussprache. Me (oder Mae) ist in diesem Zusammenhang mit Fluss zu übersetzen, daher ist der eigentliche Name des Flusses Khong.² In Kambodscha und Vietnam hat der Fluss auch lokale Namen, wird jedoch meist auch als Mekong bezeichnet. In China wird für den Abschnitt des Mekong stromaufwärts der chinesischen Grenze der Name Lancangjiang³ benutzt. Dieser Name kann ein Hinweis auf die Entwicklung des Flusses aus einem wilden, dunkelblauen Gebirgsfluss aus dem Himalaya sein, eventuell ist der Name aber auch an den Namen des alten laotischen Königreichs Lan Xang / Lan Chang⁴ angelehnt. Für den Abschnitt des Flusses stromabwärts der chinesischen Grenze wird in China meist der Name Meigonghe⁵ benutzt. In alten Chroniken wird der Mekong auch Khalanathi genannt, welches eine palisierte Form des Namen Mekong ist (Grabowsky [2004]). Laut Grabowsky stammt Nathi von dem Sanskrit/Pali Wort für Fluss und Khala sei die palisierte Form von Kong. Khalanathi kann also als auch Kong Fluss und somit Mekong übersetzt werden. Dies bedeutet, dass der Fluss bereits seit über 1 000 Jahren als Mekong bezeichnet wurde.

In dieser Arbeit wird schwerpunktmäßig der etwa 800 km lange Abschnitt des Mekong zwischen dem Hafen von Simao in China und der Stadt Luang Prabang in Laos betrachtet. Für den Abschnitt des Mekong stromaufwärts der chinesischen Grenze wird oftmals im englischen Sprachgebrauch die Bezeichnung Oberer-Mekong oder auch Obermekong (Upper Mekong) verwendet und von dort bis zur Mündung des Flusses die Bezeichnung Untermekong (Lower Mekong). Auch wenn diese Einteilung mehr politischer Natur ist, als dass sie der Charakteristik des Flusses Rechnung trägt, so hat sie doch Eingang in die Literatur

¹Diese und alle folgenden Abbildungen sind, bis auf wenige im Bildnachweis aufgeführte Ausnahmen, im Rahmen dieser Dissertation erstellt worden. Dargestellte politische Landesgrenzen geben immer nur den ungefähren Grenzverlauf wieder und es wird kein Anspruch auf die Korrektheit der Grenzen erhoben.

²Der Ursprung des Wortes Mekong liegt wahrscheinlich im Laotischen (Mae Khong ແມ່ຂອງ) und im Nordthai (Mae Khong แม่น้ำโขง) begründet. Dort werden Flüsse als Mae (Mutter) bezeichnet. Mekong heißt demnach übersetzt Kong Fluss (bzw. Mutter Kong), der eigentliche Name des Flusses ist Kong. Im Thailändischen werden Flüsse hingegen Menam genannt, der Mekong wird hier Menam Kong (แม่น้ำโขง) genannt.

³Lancangjiang 澜沧江 mit lan 澜 = Wogen, hohe Wellen; cang 沧 = dunkelblaues Wasser; 江 jiang = Fluß

⁴Das Lan Xang Königreich (Lan Xang ລ້ານຊ້າງ = Millionen Elefanten) existierte vom 14. - 18. Jahrhundert, zum größten Teil auf dem Gebiet des heutigen Laos.

⁵Meigonghe 湄公河 mit Meigong 湄公 = Mekong, He 河 = Fluss

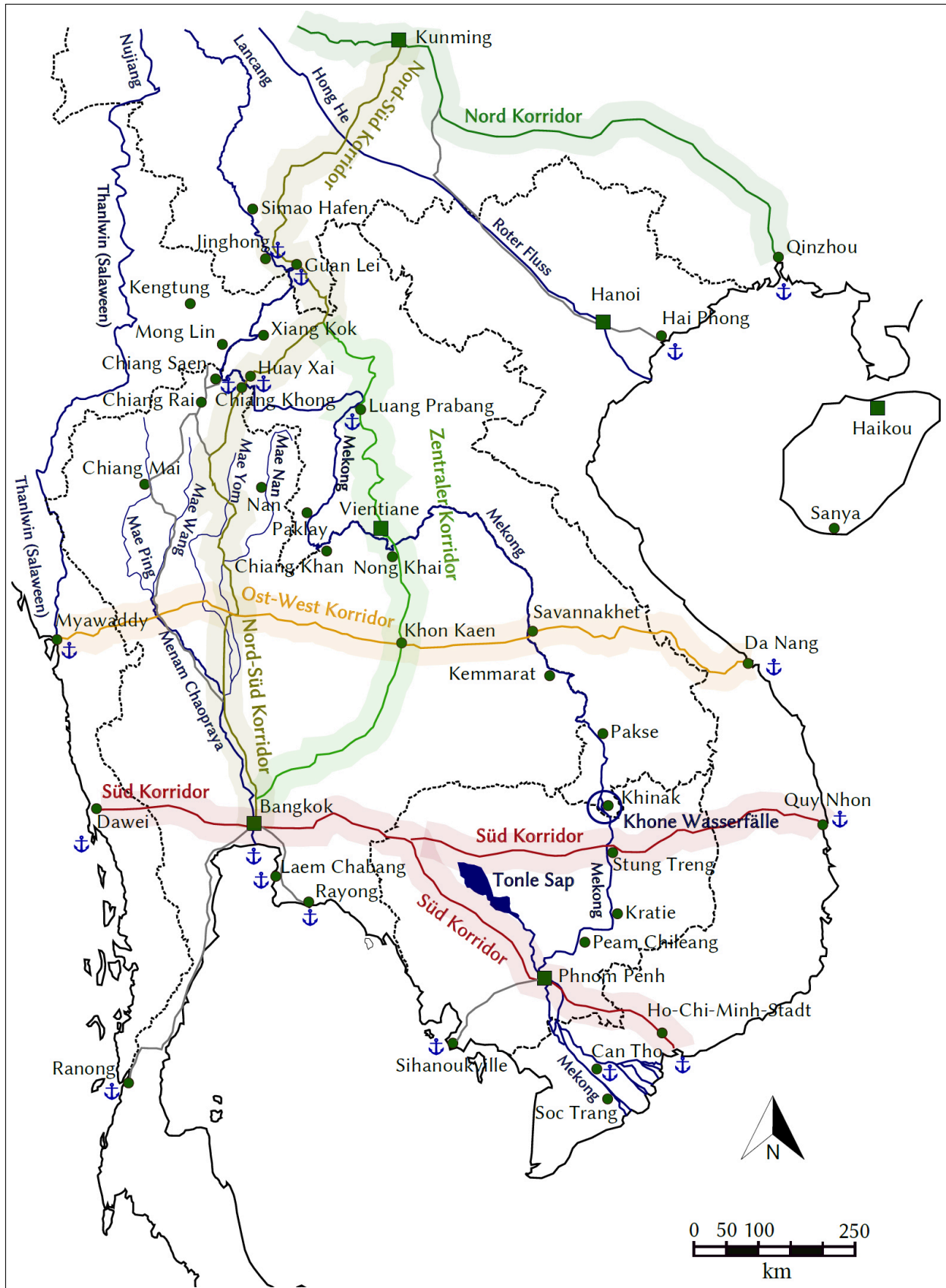


Abbildung 1.1: Mekonggebiet von Yunnan bis zum Delta in Vietnam (Verlauf GMS-Korridore nach ADB [2012])

gefunden. Unter Berücksichtigung der Topographie und der Beschaffenheit des Flussbettes wäre der Abschnitt von der Quelle bis zum Hafen von Simao als Obermekong, der Abschnitt vom Hafen Simao bis Vientiane als Mittelmekong und der Abschnitt von Vientiane bis zum Flussdelta als Untermekong zu bezeichnen. Dieses ist jedoch allgemein nicht üblich und auch im Deutschen sind die Bezeichnungen Ober-, Mittel- und Untermekong nicht gebräuchlich. In dieser Arbeit wird daher der betrachtete Flussabschnitt zwischen Simao in China und Luang Prabang in Laos als Lancang-Mekong bezeichnet.⁶ Wenn nur der Abschnitt stromabwärts der chinesischen Grenze betrachtet wird, dann wird im Folgenden auch oft nur vom Mekong gesprochen.

Durch seine exponierte Lage war und ist die Entwicklung des Mekong immer auch durch die Eigeninteressen der Anrainerstaaten und durch deren geopolitische Überlegungen geprägt. Darüber hinaus ist die Entwicklung des Mekong mit zwei internationalen Organisationen sehr eng verbunden, der Mekong Kommission⁷ und der asiatischen Entwicklungsbank⁸ mit ihrem Programm für die Mekong-Großregion.⁹ In den letzten Jahren hat insbesondere China den Ausbau des Mekong, durch den Bau von Häfen und die Finanzierung des Flussausbaus zur Verbesserung der Schifffahrt im Lancang-Mekong, vorangetrieben. Dies ermöglicht heute die Fahrt von 400 DWT Frachtern auf dem zuvor als ungeeignet für die Navigation angesehenen Abschnitt des Mekong zwischen China und Thailand. Der geplante Ausbau des Flussabschnittes zwischen Thailand und Laos wurde bisher durch die thailändische Regierung verhindert. Ungeklärte Grenzfragen und Bedenken zur nationalen Sicherheit waren dafür u.a. die Gründe. Hinzu kommt der Widerstand von den an den Ufern lebenden Menschen, die Auswirkungen auf die Fischbestände fürchten und in ihrem Protest von Nichtregierungsorganisationen unterstützt werden. Unbestreitbar würde der Flussausbau die Navigation von größeren Schiffen ermöglichen und nach dem Bau weiterer Staudämme stromabwärts auch die Verbindung bis zum Meer öffnen. Doch die Frage ist, ob es ökonomisch erforderlich ist, oder ob nicht doch die in den letzten Jahren stetig verbesserte Verkehrsweginfrastruktur, die in dem Bau der Asiatischen Fernstraße AH3 kumulierte, auch den Bedarf zukünftiger Transportkapazitäten decken kann. Der geplante Neubau einer Eisenbahnverbindung zwischen China, Laos und Thailand wird die Notwendigkeit des Flussausbaus ebenso verringern. Im Rahmen dieser Dissertation wird eine Analyse zur möglichen Entwicklung der Schifffahrt in diesem Abschnitt des Mekong auf technischer Ebene, unter Berücksichtigung des Gesamtkontextes, gegeben.

In Kapitel 2, dass sich an diese Einführung anschließt, wird die historische Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong vom Beginn der Neuzeit bis zur Gegenwart betrachtet und der Fluss in den Kontext der politischen Gegebenheiten und internationalen Organisationen gestellt. Außerdem werden bereits durchgeführte und geplante Dammprojekte im Mekong dargestellt, die einen großen Einfluss auf das Fließregime des Flusses haben. Weiterhin wird ein tabellarischer Überblick über Ereignisse gegeben, die relevant für die Entwicklung des Mekong sind.

Nach der Identifikation und Auswahl eines Projektgebietes für die hydro-und morphodynamischen Simulationen, wird in Kapitel 3 ein Überblick über das vorhandene Datenmaterial gegeben und dieses auf

⁶Die Bezeichnung Lancang-Mekong ist in der Literatur auch allgemein gebräuchlich und wird zum Beispiel auch von Ringler [2001] und Herling [2006] verwendet.

⁷Mekong River Commission (MRC)

⁸Asian Development Bank (ADB)

⁹Greater Mekong Subregion (GMS)

Plausibilität hin überprüft. Für diese Forschungsarbeit zusätzlich erforderliche Grundlagendaten werden ermittelt und analysiert. Es wird die Einbindung des Flusses als Schifffahrtsstraße in das Güterverkehrsnetz der Region diskutiert und ein Vergleich der Transportkosten zwischen Straße, Wasserstraße und Schiene gegeben. Des Weiteren wird die Veränderung des Flusslaufes in historischer Zeit und in der jüngsten Vergangenheit beleuchtet und ausgewertet. Die vorhandenen hydraulischen und sedimentologischen Daten werden analysiert und der Einfluss der Talsperren stromaufwärts des Projektgebietes quantifiziert. Die Entnahme und Auswertung eigener Sedimentproben an zwei repräsentativen Lokationen im Flussbett wird dargestellt. Am Ende des Kapitels werden die aktuell auf dem Mekong-Lancang fahrenden Frachter in den Kontext der Klassifizierung der Europäischen Binnenwasserstraßen gestellt und die Entwicklung des Frachtaufkommens in den letzten Jahren diskutiert.

In Kapitel 4 werden mögliche Verfahren zur Tiefenmessung in Fließgewässern vorgestellt. Da die Genauigkeit des vorhandenen bathymetrischen Datenmaterials für die notwendigen Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation nicht ausreichte, wurden eigene Sonarmessungen durchgeführt und eine komplette Flusskarte für diesen 70 km langen Flussabschnitt generiert. Die vorhandenen Pegelstationen im Projektgebiet wurden um vier weitere Messpegel erweitert und alle acht Pegel wurden neu eingemessen und höhenreferenziert. Die einzelnen Schritte zur Durchführung der Sonarmessungen, zur Aufbereitung der erhaltenen Rohdaten und zur Erstellung einer bathymetrischen Karte des Projektgebietes werden dargestellt. Anschließend wird die gewonnene bathymetrische Karte auf ihre Plausibilität und Qualität hin analysiert.

Verschiedene Verfahren zur Beschreibung hydrodynamischer und morphologischer Vorgänge werden in Kapitel 5 erläutert. Für die Untersuchungen wurde das quasi-dreidimensionale Programm Timor3 verwendet, welches von Zanke [1994] entwickelt und seit über 20 Jahren am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Darmstadt für morphologische Simulationen eingesetzt und weiterentwickelt wird. Dabei waren die untersuchten Gebiete meist im Küstenbereich lokalisiert. Beim Einsatz zur Modellierung von Flüssen beschränkten sich die Betrachtungen zumeist auf die Mündungsbereiche der Flüsse ins Meer und in Seen. In dieser Dissertation hingegen wird das Programm erstmals dazu benutzt, um konkrete hydro- und morphodynamische Fragestellungen zur Schifffahrt für einen 70 km langen Flussabschnitt, weit entfernt vom Flussdelta, zu beantworten. Es wird eine kurze Einführung in das eingesetzte mathematisch-numerische Modell Timor3 gegeben. Dabei wird auch kurz auf die im Programm verwendeten Grundgleichungen eingegangen. Nach der Kalibration und Validation des Modells wurden mit Timor3 hydrodynamische und morphologische Simulationen durchgeführt. Dadurch konnten die für die Navigation kritischen Flussabschnitte identifiziert und Erkenntnisse zur morphologischen Entwicklung dieser Abschnitte mit und ohne Veränderung der Flusssohle gewonnen werden. Ausführlich diskutiert wird die Sensibilität des Programms Timor3 für eine adäquate Kornverteilung auf der Flusssohle zu Beginn der morphodynamischen Simulation.

In Kapitel 6 wird ein Ausblick auf die weitere Entwicklung des Mekong als internationale Schifffahrtsstraße gegeben.

2 Die Wasserstraße Mekong im Kontext der Region

2.1 Untersuchung zur Entwicklung der Schifffahrt

2.1.1 Schifffahrt vor dem 19. Jahrhundert

Aufgrund seiner Mächtigkeit und Größe, sowie der frühen Entwicklung von Hochkulturen an seinem Mittel- und Unterlauf wurde der Mekong schon seit Jahrtausenden zur Schifffahrt genutzt. In zweitausend Jahre alten chinesischen Aufzeichnungen wird davon berichtet, dass Seefahrer von der Mündung des Flusses stromaufwärts durch Kambodscha segelten (Starr [2004]). Nach Ongsakul [2005] wurden von den Krom (oder auch Khom)¹⁰ im 1. Jahrtausend n.Chr. Städte entlang des Mekong gegründet, bis hin zur Stadt Chiang Saen und wahrscheinlich noch weiter stromaufwärts bis hinein nach Yunnan. Die Gründung von Städten entlang des Mekong ist ein Indiz dafür, dass der Fluss von Schiffen als Transportmittel zwischen den Städten genutzt wurde. In der Nähe des heutigen Chiang Saen wurde von den Krom die Stadt Suwana Khom Kham gegründet, und vermeintliche Überreste dieser ehemals großen und mächtigen Stadt befinden sich noch heute in Laos.

2.1.2 Schifffahrt unter französischem Einfluss

In der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts traten die zwei europäischen Großmächte England und Frankreich auf die südostasiatische Bühne der Macht. Sie waren für die politische und wirtschaftliche Entwicklungen der Mekongregion von großer Wichtigkeit. Während England seine Einflusssphäre von Indien kommend nach Osten über Myanmar ausdehnte, begannen die Franzosen ein Kolonialreich in Kambodscha, Laos und Vietnam aufzubauen.

2.1.2.1 Französische Mekongexpedition 1866-1868

Das Interesse an Indochina veranlasste Frankreich dazu, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf dem Mekong eine Expedition durchzuführen. Ziel der Expedition war es, über die Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong, einen Zugang zu dem chinesischen Markt zu bekommen.¹¹ Denn schon damals war der

¹⁰Während Ongsakul die Krom den Khmern gleichsetzt, wird dies von Grabowsky [2004] als eher unwahrscheinlich angesehen. Nach Grabowsky ist es wahrscheinlicher, dass es sich bei den Krom um die mohn-khmersprachige indigene Bevölkerung Südostasiens handelt.

¹¹So schreibt Garnier, stellvertretender Leiter der französischen Mekongexpedition, in Garnier [1872] (S.297): "Only the construction of a new empire of the Indies in this peninsula so fortunately situated between India and China can create sufficient openings for our industry and our commerce, exhausted by so many sacrifices and compromised by such heavy burdens, to fight our commercial rivals. In this way we gain access to China's huge market, which is today so greedily coveted by Russia and England..."

schier riesig erscheinende chinesische Markt sehr verlockend. In den Berichten von Garnier [1872] und de Carne [1872] werden die Einzelheiten der Expedition beschrieben und die nachfolgenden Ausführungen sind im wesentlichen diesen beiden Quellen entnommen.¹²

Die Expedition begann am 5. Juni 1866 in Vietnam und erreichte Yunnan im Januar 1868. Sie dauerte somit etwa achtzehn Monate. Zum Zeitpunkt der Expedition existierten nur sehr ungenaue Karten von Südostasien und dem Verlauf des Mekong. In der Landkarte *Asiae Nova Descriptio* von Abraham Ortelius in 1575, sowie auch in der 1606 von Jodocus Hondius überarbeiteten Version dieser Karten werden die meisten großen Flüsse Südasiens von einem großen See im Himalaya Gebirge gespeist. In den Sagen des Volkes der Thai Lü (Hauptsiedlungsgebiet bei Jinghong) wird davon gesprochen, dass der Mekong aus einem der großen Seen im Norden gespeist wird (Jaemjidd [2014]). Ein Kommentar des stellvertretenden Expeditionsleiters Francis Garnier, dass die Expeditionsteilnehmer gespannt seien zu sehen, ob die, in der Expedition vorliegenden Karte (fälschlicherweise) gezeigte Verbindung zwischen dem Mekong und dem Menam Chaopraya, welcher der wichtigste Fluss Thailands ist, wirklich existiere, zeigt, wie wenig man auch noch 200 Jahre nach der Erstellung obiger genannter Kartenwerke über den Mekong und auch insgesamt über die Flüsse in Südostasien wusste.

Am 18. August 1866 erreichte die Expedition die Khone Wasserfälle, welche bis heute ein unüberwindbares, natürliches Hindernis für Schiffe sind. Damit war das Hauptziel der Expedition, eine durchgehend schiffbare Wasserstraße von Vietnam nach China zu finden, bereits nach wenig mehr als zwei Monaten obsolet. Der Mekong hat bei den Khonefällen eine Breite von über 10 km und das Wasser fließt über 10 m hohe Kaskaden. Am 20. September schätzte die Expedition den Abfluss bei der Stadt Pakse auf über 55 000 m³/s am 9. Dezember auf 9 000 m³/s. Ein Vergleich mit heutigen Messungen zeigt, dass dies ziemlich genaue Schätzungen waren. In diesem Abschnitt des Flusses wurden extrem viele Felsen im Fluss registriert und durchgeführte Tiefenmessungen ergaben Tiefen von bis zu 100 m.

Am 25. Dezember 1866 verließ die Expedition Pakse, erreichte am 2. April Vientiane und am 29. April 1867 Luang Prabang. Zwischen Vientiane und Luang Prabang wurden von der Expedition zahlreiche Schiffe bzw. Flöße zum Personen- und Gütertransport auf dem Fluss beobachtet.¹³

Wie schwierig die Navigation sich stromaufwärts von Vientiane darstellt, ist in Abbildung 2.1 auf einem Luftbild¹⁴ des Flussabschnittes Luang Prabang - Vientiane zu sehen.¹⁵

¹²Leiter der Expedition war Doudart de Lagrée; der stellvertretende Expeditionsleiter war Francis Garnier, zuständig für hydrographische, meteorologische, astronomische Forschungen, sowie Kartographie und Studie der Handelswege; L. Delaporte war zuständig für Zeichnungen und Administration. Daneben nahmen zwei Ärzte und der Militärattache de Carné teil. Übersetzer und Sicherheitspersonal, sowie die Bootcrews und Träger vervollständigten die Mannschaft.

¹³“A little below Xieng Cang (Chiang Khan) we had met one of those bamboo rafts of which I have already spoken, true floating houses which can carry numerous travelers and enormous quantities of merchandise on the way down the river” (S.275). “The river is not entirely ignored as means of transportation between Luang Prabang and southern Laos. It serves as a route for local trade which, it is true, is far less important. There has already been mentioned, in the course of the report, of the great rafts which manage to cross the most dangerous rapids. These are the only vessels that the traders and travelers who descend the river use” (S.283) in Garnier [1872].

¹⁴Die Bildnachweise für die verwendeten Photos sind vor dem Literaturverzeichnis aufgeführt.

¹⁵“A few miles above Vientiane, the Mekong is definitely constricted between two chains of hills, which dominate its bed on all sides. The waters, which so far had flowed majestically, tranquilly and peacefully through the huge plateau of Central Laos, forming capricious meanders, accelerate their course and boil among the rocks. The noble river, the width of which is sometimes measured in kilometres, but now constrained between two banks which rise relentlessly above it, finds itself constrained between two banks which rise relentlessly above it, find itself contained within a moat that is rarely five to six hundred meters wide and from which it never manages to escape. During the time of low waters, it occupies



Abbildung 2.1: Der Mekong zwischen Luang Prabang und Vientiane im Juni 2010

Zwischen Vientiane und Luang Prabang¹⁶ traf die Expedition den holländischen Geographen Duyshart, der auf dem Fluss von Chiang Khong kommend im Auftrag des Königs von Siam nach Vientiane reiste. Er übergab der Expedition eine selbst angefertigte Skizze des Flussabschnittes zwischen Chiang Khong und Luang Prabang. In Luang Prabang besuchte die Expedition u.a. das Grab des Forscher Henri Mouhot, der etwa 10 Jahre (1861) vorher bereits in Luang Prabang war und auf dem Mekong von Chiang Khong nach Luang Prabang fuhr. Er war damit wahrscheinlich der erste Europäer der diesen Abschnitt des Mekong befuhr.

Am 25. Mai verließ die Expedition Luang Prabang in Richtung Chiang Khong, das am 4. Juni erreicht wurde. Chiang Khong war zu diesem Zeitpunkt eine wichtige Garnisonsstadt des mächtigen Herrschers von Nan. Doch obgleich das Fürstentum Nan zu diesem Zeitpunkt bedeutend war und seine nördlichen Grenzen bis an China reichten, war es dem König von Thailand (Siam) tributpflichtig. In dem Expeditionsbericht wird erwähnt, dass von Chiang Khong aus ein Handelsweg über Land nach Chiang Mai führte (12 Tagesreisen). Bedingt durch die Nutzung des Mekong zwischen Chiang Khong und Luang Prabang als Schifffahrtsstraße, ist es recht wahrscheinlich, dass der Warenaustausch von Chiang Mai nach Luang Prabang über Chiang Khong abgewickelt wurde.

Am 14. Juni verließ die Expedition mit sechs Booten Chiang Khong in Richtung Chiang Saen, nachdem sie zuvor große Schwierigkeiten gehabt hatte, erfahrene Bootsführer für diesen Flussabschnitt zu finden. Die Expedition erfuhr vom Gouverneur von Chiang Khong, dass der Mekong etwas stromaufwärts von Chiang Saen nicht mehr schiffbar sei. Dies ist interessant festzuhalten, da es ein klarer Hinweis darauf hin ist, dass es zu der damaligen Zeit, und wohl auch kaum davor, je Schiffe gab die den Flussabschnitt zwischen Jinghong und Chiang Khong nutzten. Die Expedition beobachtete, dass große Schiffe auf dem Flussabschnitt stromaufwärts von Chiang Khong sehr selten waren und die gesamte Schifffahrt gegen null tendierte. Flussaufwärts von Chiang Khong hat den Mekong höchstwahrscheinlich zuvor noch kein

the tiniest fraction of this space and its bed reveals a disturbed rocky surface, a grand mosaic in which one find samples of all the metamorphic formations, marbles, schists, serpentine marbles, even curiously colored and sometimes beautifully polished jades. In the center, a narrow channel, a sort of canal, the width of which is sometimes as little as forty meters but the depth of which is more than a hundred meters, contains all the waters of the river, which impetuously gushes between two perpendicular rock walls. With a few rare interruptions, this is the apperance presented by the Mekong up to the point where we were forced to leave its banks, and it most probably keeps this appearance right up to Tibet. We believe that no other river in the world presents such a singular physiognomy over such a long distance." (S. 269) in Garnier [1872].

¹⁶Ca. zwölf Meilen vor Pakley.

Europäer befahren. Seit Vientiane war es für die Expedition das erste Mal, dass der Fluss nach einigen anfänglich schwierigen Passagen, friedvoll und ruhig in einem breiten und eher flachen Bett dahin floss. Der Fluss erschien als sehr gut navigierbar. Dies änderte sich etwas flussaufwärts von Chiang Saen, wo der Fluss wieder schwer passierbar wurde. Wie auch schon an den schwierigsten Passagen zuvor, zwischen Vientiane und Luang Prabang, mussten hier die Boote wegen der Felsen mehrmals entladen und ohne Ladung vom Ufer aus stromaufwärts getreidelt werden. Am 18. Juni erreichte die Expedition die Felsen/das Riff Tang Ho, etwa 50 km stromaufwärts von Chiang Saen und nahe bei Mong Lin gelegen. Dies war für die Expedition der Endpunkt ihrer Reise auf dem Mekong. Tang Ho war ein Treffpunkt von Karawanen aus Yunnan und Kengtung (Chiang Tung), sowie von Schiffen die bis nach Luang Prabang fuhren. Laut Expeditionsbericht wurde u.a. Salz von Luang Prabang nach Tang Ho mit Schiffen transportiert und von den Karawanen Gerbstoffe und Betelnüsse nach Tang Ho gebracht.

Basierend auf seinen Observationen folgte der stellvertretende Expeditionsleiter Garnier, dass während der Niedrigwasserperiode Schiffe den Mekong bei Tang Ho nicht passieren können und auch treideln unmöglich sei. In der Regenzeit erwartete Garnier, dass Navigation möglich sei. Es wird allerdings an anderer Stelle im Bericht erwähnt, dass während der Regenzeit auf dem Mekong so gut wie keine Navigation stattfindet. Letzteres erscheint wahrscheinlicher, da zum Beispiel auf dem Mae Ping¹⁷ früher während der Regenzeit keinerlei Schiffe fuhren, sondern während dieser Jahreszeit Elefanten als Reise- und Lasttiere benutzt wurden (Smyth [1895]).

Auf dem Landweg über Kengtung erreichte die Expedition Jinghong am 28. September. Sie führte weitere Erkundungen in Yunnan durch, wobei am 12. März 1868 der Leiter der Expedition, Doudart de Lagrée, in Dongchuan (etwa 100 km nördlich von Kunming gelegen) starb.

Eine der Haupteckenkenntnisse der Expedition war, dass der Mekong in seinem natürlichen Zustand nicht durchgängig schiffbar ist. Nur durch großen technischen und finanziellen Aufwand könnten die Hindernisse, insbesondere die natürliche Barriere der Khone Wasserfälle, überwunden werden. Damit wurde das Hauptziel der Expedition verfehlt. Jedoch erhielt sie interessante Einblicke in die lokalen Gewohnheiten und politische Verhältnisse und die Expeditionsteilnehmer waren mit großer Wahrscheinlichkeit die ersten Europäer nach Marco Polo, die den längsten Fluss Chinas, den Jangtse (Chang Jiang), so weit entfernt von der Mündung sahen und kartierten (Osborne [1975]). Außerdem konnte die Expedition die Existenz des Roten Flusses bestätigen, der letztendlich eine erheblich kürzere und vor allem durchgängig schiffbare Schifffahrtsroute zwischen dem Pazifik und Yunnan darstellte¹⁸

Weitere Forschungsreisen folgten der französischen Expedition. So berichtete Smyth [1895] gegen Ende des 19. Jahrhundert, dass die Reise mit dem Schiff zwischen Chiang Khong und Luang Prabang auf dem Mekong fünf Tage stromabwärts und 10 bis 15 Tage stromaufwärts dauerte.¹⁹ Die Schiffe für Reisen waren

¹⁷Der Mae Ping ist ein wichtiger Fluss im Norden Thailands. Vor dem Bau der Bhumpipol Talsperre wurde der Fluss zum Gütertransport zwischen Chiang Mai, Zentralthailand und Bangkok genutzt.

¹⁸Es war jedoch letztendlich der Franzose Jean Dupuis der 1872 mit mehreren Schiffen, darunter ein Dampfschiff und eine Dschunke, den Roten Fluss von der Mündung im Golf von Tonkin bis nach Yunnan befuhr und damit gezeigt hatte, dass dieser Fluss für die kommerzielle Schifffahrt geeignet ist. Ehlers [1894] berichtet in seinem Ende des 19. Jahrhundert veröffentlichten Reisebericht davon, dass Tee und Zinn von Yunnan nach Hanoi per Schiff transportiert wurden. Erst mit dem Bau und Eröffnung der Eisenbahnverbindung von Hai Phong nach Kunming im Jahr 1910 wurde die Bedeutung der Schifffahrt auf dem Roten Fluss reduziert (Osborne [1975]).

¹⁹Interessant ist hier ein Vergleich mit den heutigen Reisezeiten, welche in Tabelle 3.9 aufgeführt sind.

seinen Beobachtungen zufolge etwa 20 Meter lang und nur 1,20 m breit. Für den Transport von Gütern (z.B. Transport von Reis nach Luang Prabang) wurden Bambusflöße benutzt, die bis zu 40 m lang und 12 m breit waren. Smyth erwähnt, dass die Fahrten auf diesem Abschnitt des Mekong nicht ungefährlich waren. Er berichtet von der Sichtung vieler Schiffswracks im Bereich einer Felsenstrecke stromabwärts von Luang Prabang gelegen.

2.1.2.2 Erste strombauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt

Nachdem die Staaten Kambodscha, Laos und Vietnam seit Mitte des 19. Jahrhunderts unter französische Kontrolle kamen, gab es von Seiten der Franzosen erhebliche Bemühungen, die Navigation auf dem Mekong zu entwickeln. Um den Mekong vollständig unter ihre Kontrolle zu bringen, wurde zeitweise auch das Ostufer des Flusses auf thailändischem (siamesischen) Gebiet beansprucht. Am unteren Lauf des Mekong wurden von den Franzosen Häfen (z.B. bei Phnom Penh) gebaut und der Hafen in Saigon (heute Ho-Chi-Minh-Stadt) wurde zu einem internationalen Hafen ausgebaut. Das während der Khmer Hochkultur geschaffene, weitverzweigte Kanalnetz, bauten die Franzosen von 1866 an aus (Newell u. a. [1956]). Seeschiffe konnten von der Mündung des Mekong bis nach Phnom Penh fahren und Flussschiffe von dort über Vientiane bis nach Luang Prabang. Es war die Intention den Mekong zu einer Handelsstraße zwischen Laos, Kambodscha, Vietnam und Thailand zu entwickeln.

Ab 1880 wurden Expeditionen und Studien zu den Untiefen bei Khone und Khemmarat durchgeführt und letztendlich drei Schifffahrtsrouten eingerichtet, eine für Hochwasser, eine für Mittelwasser und eine für Niedrigwasser. Messpegel wurden eingerichtet, Navigationsschilder an mehreren Stellen installiert und Felsen im Flusslauf gesprengt. Anfang des 20. Jahrhundert wurde eine kurze Eisenbahnstrecke bei den Khone Wasserfällen gebaut, um Handelsgüter trotz dieses unpassierbaren Hindernisses transportieren zu können. Auch wurde eine Eisenbahn zum Transport von kleineren Schiffen gebaut, die jedoch kaum genutzt wurde. Da das Handelsvolumen nicht, wie antizipiert, wuchs, wurde von weiteren Investitionen zur Verbesserung der Navigation abgesehen (Le-Huu u. Nguyen-Duc [2003]).

Für den Flussabschnitt stromaufwärts von Vientiane wurde keine besondere Notwendigkeit zur Verbesserung der Navigation gesehen, da dort das Land schwach besiedelt war und, außer für Erze, kein großer Bedarf für den Transport von Gütern bestand. Außerdem wurde die Navigation im Abschnitt von Luang Prabang bis zur Grenze nach China weiterhin als sehr schwierig bzw. unmöglich eingeschätzt. Der Mekong wurde zu jener Zeit in diesem Bereich nur von sehr kleinen Schiffen genutzt, die zwischen den am Mekong gelegenen Dörfern unterwegs waren, sowie von Fähren, welche die Ortschaften an beiden Ufern verbanden.

Die Franzosen erstellten Navigationskarten für den gesamten Flussabschnitt zwischen Luang Prabang bis zur Mündung, welche bis 1940 in regelmäßigen Abständen auf den neuesten Stand gebracht wurden. Durch die Kriegswirren während und nach dem zweiten Weltkrieg wurden die Eisenbahnen bei den Khone Wasserfällen zerstört und der Gütertransport wurde auf eine Straße parallel zum Fluss verlagert. Die Wartungsarbeiten an den Navigationshilfen wurden eingestellt.

2.2 Internationale Studien zur Entwicklung des Mekong Flussgebietes

Während der französischen Kolonialzeit in Indochina war der Mekong eine wichtige Route für den Gütertransport von Saigon bis nach Luang Prabang. Das Hinterland von Indochina wurde hierüber mit Waren versorgt, die von Übersee kamen. In Thailand gab es nach der Fertigstellung der Eisenbahnverbindung von Bangkok in den Norden und Nordosten des Landes in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts, sowie durch den Verlust der Gebiete östlich des Mekong an die Franzosen, keine große Notwendigkeit mehr, Waren auf dem Mekong über weitere Strecken zu transportieren.

Nach der Unabhängigkeit der französischen Kolonien in Südostasien im Jahre 1954 veränderte sich erneut die Nutzung des Mekong. Güter von und nach Laos wurden nun nicht mehr zu den Häfen in Kambodscha und Vietnam transportiert, sondern meist mit der Eisenbahn von Vientiane über Nong Khai nach Bangkok. Luang Prabang und Vientiane wurden durch eine neue Straße verbunden, so dass die Bedeutung des Mekong als Wasserstraße auch für diese beiden Städte stark abnahm. Kambodscha transportierte nunmehr die Waren von Pnomh Penh über eine Eisenbahnstrecke zum Seehafen in Kompong Som (Sihanoukville). Der Mekong hatte somit durch die politische Entwicklung einen Großteil seiner Bedeutung als internationale Wasserstraße verloren (MC [1970]).

Nach Gründung der Vereinten Nationen²⁰ im Jahr 1945 wurden Wirtschaftskommissionen in Europa, Latein Amerika und Asien eingesetzt. Die Kommission für Asien wurde in Bangkok als Wirtschaftskommission für Asien und den Fernen Osten etabliert (ECAFE).²¹ Aufgabe der Kommission war es, wirtschaftliche Entwicklungen in der Region zu analysieren und fördern. Im Jahre 1949 gründete die Wirtschaftskommission eine Abteilung zur Entwicklung von Hochwasserschutz und Wasserressourcen²² und zur Entwicklung internationaler Flüsse, mit dem Schwerpunkt auf dem Mekong. Es begannen Untersuchungen zum Mekong, die über mehrere Jahre andauerten (UN-ECAFE [1957]). In 1951 wurde von den Anrainerstaaten und dem Sekretariat der Wirtschaftskommission beschlossen, Untersuchungen und Studien am Mekong durchzuführen. Erstes sichtbares Resultat war eine im Jahr 1952 von ECAFE veröffentlichte Studie zum Mekong, welche allerdings nur auf bereits vorhandenem Datenmaterial basierte.

2.2.1 Mekong Erkundungsstudie erstellt unter US Leitung 1955-1956

Vier Jahre nach der ECAFE Studie führte das US Innenministerium²³ eine umfangreiche, aber zeitlich sehr begrenzte Erkundung des Mekong von der Mündung bis zur chinesischen Grenze durch (Newell u. a. [1956]). Die Studie wurde im Auftrag von Kambodscha, Laos, Thailand und Vietnam vom 3. Dezember 1956 bis 11. Februar 1957 erstellt. Dabei wurden vorhandene Daten ausgewertet und weitere während einer 30 Tage dauernden Expedition gesammelt. Die Observation des Flusses wurde zum großen Teil vom Flugzeug aus durchgeführt. Mehrere Abschnitte des Mekong wurden von der Mündung bis zur chinesischen Grenze überflogen, der Flussabschnitt Chiang Khong - Chiang Saen - Xieng Kok wurde ausgespart. In Phnom Penh, Soc Trang und im Bereich der Khone Wasserfälle wurden Untersuchungen auf dem Fluss durchgeführt.

²⁰United Nations (UN)

²¹Economic Commission for Asia and the Far East

²²Bureau of Flood Control and Water Resource Development

²³US Bureau of Reclamation of the Department of the Interior

In Vientiane und Luang Prabang wurden existierende Hafenanlagen besichtigt. Im Bericht werden die umfangreichen strombaulichen Maßnahmen der Franzosen erwähnt, die seit 1905 durchgeführt, aber seit den letzten 15 Jahren nicht mehr instand gehalten wurden. Der Report spricht von einer regen Nutzung des Mekong durch die Schifffahrt.

In den Anhängen der Studie sind Landkarten sowie Datenmaterial zu Niederschlag, Evaporation und Wasserständen aufgeführt. Wasserstandsmessungen lagen damals von mehreren Pegeln vor, darunter von 9 Standorten über längere Zeiträume, die zum Teil bis ca. 1900 zurückreichten. Die vorhandene Datengrundlage war jedoch ungenügend für eine methodische Entwicklung des Mekong, da insbesondere Abflussdaten, hydrographische und topographische Vermessungen und Informationen zur Bodenbeschaffenheit fehlten oder nur sehr unzureichend vorhanden waren. Sedimentdaten lagen nur für den Tonle Sap See über einen Zeitraum von fünf Jahren vor. Kornverteilungskurven für die Ufer- und Flussbettbereiche waren nicht vorhanden. Die Studie empfahl daher, an mehreren Orten Stationen zur Messung der Sedimentfrachten einzurichten, sowie die Wasserqualität periodisch zu analysieren.

Hydrographische Karten lagen nur noch für den Mündungsbereich des Mekong vor. Es wurde daher empfohlen, bathymetrische und topographische Vermessungen durchzuführen, um einen weiteren Ausbau der Schifffahrt auf dem Mekong zu ermöglichen. Außerdem wurde angeregt, Untersuchung zur Beschaffenheit des Flussbettes und der Ufer durchzuführen. Kritische Navigationspunkte sollen durch Flussfahrten von Luang Prabang bis zur Mündung des Flusses identifiziert werden. Die Studie empfahl die Reinstallation von Navigationshilfen und gegebenenfalls die Durchführung weiterer Sprengungen und Baggerungen im Flussbett, sowie die Einrichtung von weiteren Häfen. Es wurde die Durchführung einer weiteren Studie zur Anbindung der Häfen an das Straßennetz vorgeschlagen. Diese sollte auch die Einrichtung von Beipässen an solchen Stellen im Fluss möglich wo keine Navigation ist und die Einrichtung von Fährverbindungen untersuchen.

Interessant ist, dass in der Studie der Abschnitt des Mekong zwischen Myanmar und Laos, sowie weiter stromaufwärts bis nach China, nicht weiter berücksichtigt wurde. Es wird explizit nur der Mekong von Luang Prabang bis zur Flussmündung in Vietnam zur Implementierung von Maßnahmen erwähnt, der gesamte Abschnitt von der chinesischen Grenze über Chiang Saen bis nach Luang Prabang wird ausgespart. Warum dies so ist, erklärt eine Fußnote in einer gemeinsamen Notiz von ECAFE und der ECAFE Abteilung zur Entwicklung von Hochwasserschutz und Wasserressourcen aus dem Jahr 1955. Dort wird ausgeführt, dass zukünftige Projekte, die Burma/Myanmar (und somit den Abschnitt des Mekong zwischen Myanmar und Laos) betreffen, ausgeschlossen werden, da die Topographie in der Nachbarschaft des Gebietes zum 20° Längengrad zu rau und die Region zu weit abgelegen von dichter bevölkerten Gebieten des Flussgebietes ist (UN-ECAFE [1955]).

2.2.2 ECAFE Studie 1956

Direkt nach Fertigstellung der Mekongstudie unter US-Leitung (Kapitel 2.2.1) wurde im Jahr 1956 eine Gruppe von Experten von ECAFE ausgesandt, um das Entwicklungspotential des Mekong im Bereich Wasserkraft, Navigation, Bewässerung und Hochwasserschutz zu erkunden (UN-ECAFE [1957]).

Im Bericht wird erwähnt, dass seegängige Schiffe bis maximal 2 000 Tonnen von der Flussmündung bis Pnomh Penh fahren können und Küstenschiffe bis nach Peam Chileang (127 km stromaufwärts von Pnomh Penh). Weiter stromaufwärts können nur Binnenschiffe verkehren, wobei die Abschnitte Kratie bis Khinak und Pakse bis Savannakhet nicht navigierbar seien. Es wird angemerkt, dass eine Verbesserung der Navigation als Nebeneffekt durch den Bau von Talsperren erreicht werden könnte.

Der Bericht enthält ein Diagramm, welches die maximal möglichen Tiefgänge für Schiffe für einzelne Abschnitte des Mekong von Luang Prabang bis zur Flussmündung zeigt. Für den Abschnitt Luang Prabang bis Vientiane wird während der Trockenzeit ein maximal möglicher Tiefgang von 0,5 m bei einer maximalen Tonnage von 40 Tonnen angegeben. Über den Flussabschnitt von der chinesisch/laotischen Grenze bis Luang Prabang werden keine Angaben gemacht. Als potentielle Frachtgüter für den oberen Bereich des Flusses werden jedoch Tropenhölzer (insbesondere Teak) aus Laos und Salz aus Vietnam genannt. Dies ist erwähnenswert, da hier China zwar als möglicher Absatzmarkt für diese Produkte angegeben wird, eine Untersuchung des oberen Flussabschnittes jedoch nicht durchgeführt wurde. Der Bau von sechs Dämmen²⁴ im Hauptstrom des Mekong wird in der Studie vorgeschlagen, darunter ein Damm zwischen Vientiane und Luang Prabang (Pa Mong), dessen Stauwurzel ca. 250 km stromaufwärts bei der Staumauer eines weiteren geplanten Staudamms bei Luang Prabang liegt. Die Installation von Schleusen soll die Schifffahrt weiterhin ermöglichen. Der Bericht schlussfolgert, dass außer dem Bau der beiden erwähnten Dämme weitere wasserbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Navigierbarkeit des Mekong nicht notwendig seien. Stromabwärts der beiden Dämme wird jedoch an kritischen Punkten eine Vertiefung der Flusssohle durch Baggerung, die Entfernung von Felsen und die Einrichtung von Navigationszeichen empfohlen.

Der Bericht merkt ebenfalls an, dass die vorhandene Datenbasis für die Planungen am Mekong nicht ausreicht und es notwendig sei, Daten über längere Zeiträume zu sammeln.

2.2.3 Wheeler Bericht 1957-58

Gemeinsam von UN, ECAFE und vier Anrainerstaaten (Laos, Thailand, Vietnam und Kambodscha) wurde in 1957 das Mekong Komitee²⁵ gegründet (Nguyen [1999]). Ein von UNDP eingesetzter Direktor,²⁶ sowie ein von UN und Weltbank ernannter Expertenbeirat bildeten, zusammen mit den jeweiligen nationalen Mekong Komitees der Anrainerstaaten, das Mekong Komitee. Kurz nach der Gründung des Komitees wurde eine erneute Untersuchung zur Entwicklung der Mekongregion im Auftrag des Mekong Komitees, ECAFE und der Regierungen von Thailand, Laos, Kambodscha und der Republik Vietnam durchgeführt. Sie startete mit der Ankunft ihres Leiters Raymond A. Wheeler am 19. November 1957 und wird daher auch oft die Wheeler Mission und der Bericht der Wheeler Bericht genannt (Wheeler u. a. [1958]). Der Mekong wurde von Luang Prabang bis zur Mündung vom Flugzeug aus inspiziert und es wurden mehrere Stellen des Flusses vor Ort untersucht, wobei hierbei der nördlichste Punkt die Stadt Vientiane war. Die Mission endete nach drei Monaten am 23. Januar 1958 mit der Fertigstellung des Berichtes.

²⁴In dieser Arbeit wird der Begriff 'Damm' als Oberbegriff für Staumauern und Staudämme verwendet.

²⁵Mekong Committee (MC)

²⁶Executive Agent

Der Wheeler Bericht nimmt Bezug auf die beiden vorigen Missionen, die ECAFE (Kapitel 2.2.2) und die US Expedition (Kapitel 2.2.1). Er merkt kritisch an, dass bisher keine der Empfehlungen zur Installationen von Messstationen zur Sammlung von Basisdaten umgesetzt wurde. Daher werden im Bericht Richtlinien für weitere Studien und konkrete Planungen zur sofortigen Einrichtung eines hydrologischen Netzwerkes, mit Stationen im gesamten Einzugsgebiet des unteren Mekong, erarbeitet. Für den Mekongabschnitt stromaufwärts von Luang Prabang wird darauf hingewiesen, dass die Entwicklung dieses Abschnittes für den unteren Mekong für lange Zeit nicht von Bedeutung sein wird. Es wird also eine klare Trennung zwischen diesen beiden Flussabschnitten gezogen und davon ausgegangen, dass die Entwicklungen unabhängig von einander sein werden. Es wird jedoch empfohlen, konkrete Schritte zu unternehmen, sobald die Entwicklung sich anders darstellen sollte.

Für Chiang Khong/Houy Xay und Luang Prabang, sowie an mehreren Hauptnebenflüssen, wird die Einrichtung von automatischen Wasserstands- und Durchflussmessstationen vorgeschlagen.²⁷ Im Bericht wird auch die Abwesenheit von Sedimentdaten, sowie von topographischen und hydrographischen Vermessungen hervorgehoben, ohne welche die Planungen von strombaulichen Maßnahmen nicht möglich seien. Daher wird die regelmäßige Messung von Sedimentfrachten und die Einrichtung eines Vermessungsnetzwerkes entlang des gesamten Flusslaufes ab Chiang Saen bis zur Mündung empfohlen. Der Abschnitt Chiang Saen bis Luang Prabang wird als zweite Priorität aufgeführt, der Abschnitt stromaufwärts von Chiang Saen bis zur chinesischen Grenze nicht erwähnt. Detaillierte topographische und hydrographische Vermessungen sollen an den Orten durchgeführt werden, an denen eine erfolgsversprechende Entwicklung des Flusses erwartet und die Navigation verbessert werden soll. Desweiteren wird eine Sonarmessung von Luang Prabang bis zur Mündung des Flusses bei Hochwasser, Mittelwasser und Niedrigwasser empfohlen. Die Aufnahme von Luftbildern wird empfohlen.

2.2.4 Mekong Indikativer Stromgebietsplan 1970

Der indikative Mekong Stromgebietsplan²⁸ von 1970 (MC [1970]) ist eine Überarbeitung des ECAFE Berichts von 1956 (Kapitel 2.2.2) und basiert auf vorhandenen Berichten, insbesondere auf dem im vorigen Kapitel 2.2.3 vorgestellten Wheeler Bericht. Aufgrund der in Folge der Wheeler Mission eingerichteten Messstationen, stand dem IBP ein erheblich umfangreicheres Datenmaterial zur Verfügung. Hauptziel des IBP's war die Erstellung eines Investitionsprogramms für potentielle Projekte bis zum Jahr 2000. Projekte, die auf die langfristige Entwicklung des Flusses große Auswirkungen haben, wurden besonders berücksichtigt.

Auch wenn es bezüglich der Navigation auf dem Mekong keine neuen Erkenntnisse gab, so wird doch von vorhandenen hydrographischen Karten für den Abschnitt Luang Prabang bis zur Mündung des Flusses gesprochen. Explizit wird erwähnt, dass es keine aktuellen Vermessungen für den Flussabschnitt Chiang Khong/Houy Xai bis Luang Prabang gibt und dass diese Flussstrecke wichtig ist für den Transport von Lebensmitteln, insbesondere Reis von Thailand nach Laos. Daher wird empfohlen hier eine Vermessung

²⁷Keine Station wurde am Mae Kok vorgeschlagen, obwohl dieser einer der wichtigsten Nebenflüsse in diesem Flussabschnitt ist.

²⁸Indicate Basin Plan (IBP)

durchzuführen. Der Abschnitt des Mekong von der chinesischen Grenze bis nach Chiang Saen ist im Bericht nicht erwähnt.

Nach Einschätzung des Berichtes ist es für Frachter bis zu einer Tonnage von 70 - 80 Tonnen zwischen Chiang Saen (!) und Kratie (Khone Wasserfälle) möglich zu navigieren. Allerdings rechtfertigt die geringe gegenwärtige Nutzung des Flusses als Schifffahrtstraße nicht den Ausbau des Mekong für die Binnenschifffahrt durch Schleusen und andere wasserbaulichen Maßnahmen. Daher wurden Projekte zum Flussausbau, die den Warentransport durch Frachter von Luang Prabang bis zum Meer ermöglichen, für die nächsten 30 Jahre als nicht notwendig erachtet. Die Verbesserung der Navigation wurde nur als willkommener Nebeneffekt des Baus von Staudämmen im Hauptlauf des Mekong erachtet, welcher die Nutzung des Flusses für die Binnenschifffahrt von Chiang Saen bis zur Mündung in Vietnam ermöglichen würde. Der Bericht empfiehlt, alle geplanten Dämme mit Schleusen auszustatten und betont die positiven Auswirkungen, die der Bau einer Mekong Dammkaskade für die Binnenschifffahrt hätte.

Nach dem Austritt Kambodschas aus dem Mekong Komitee im Jahr 1978 (MRC [2002]) wurde das Komitee in Mekong Übergangskomitee²⁹ umbenannt. Im Jahr 1987 wurde vom Übergangskomitee der Bericht überarbeitet und als Revidierter Indikativer Mekong Stromgebietsplan³⁰ veröffentlicht (IMC [1988]).

Die auf dem Mekong transportierten Güter zwischen Vientiane und Luang Prabang werden in dem überarbeiteten Bericht mit aktuell 4 000 ton/a angegeben. Seit dem Jahr 1971 konnte nur im Flussdelta eine Zunahme des Schiffstransport beobachtet werden. Auf dem oberen Flussabschnitt hat der Transport abgenommen. Der Bericht geht soweit zu schlussfolgern, dass selbst der Bau von Schleusen für die Schifffahrt bei den geplanten Dämmen möglicherweise nicht wirtschaftlich sei. Allerdings wird eine Chance für eine positive Entwicklung des oberen Flussabschnittes gesehen, wenn der Seehafen in Danang (Vietnam) für den Weitertransport etabliert werden würde, anstelle von Seehäfen an der Mündung des Mekong.

2.3 Beginn der kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong

Gegen Ende des 20. Jahrhundert gab es eine, von keiner der in den vorigen Kapiteln vorgestellten Studien erwartete Wendung in dem politischen Gefüge der Mekongregion, die der Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong einen immensen Schub versetzte. China öffnete sich politisch und plötzlich wurde der Ausbau des Mekong für die Schifffahrt zwischen China, Thailand und Laos ganz konkret diskutiert. Was die französische Expedition in 1866 noch als Ziel hatte, jedoch in allen weiteren Berichten weitestgehend ignoriert wurde, war nun plötzlich hoch aktuell - der Mekong als internationale Schifffahrtsstraße von der chinesischen Provinz Yunnan bis zur Flussmündung in Vietnam. Treibende Kraft zur Entwicklung des Lancang-Mekong für die internationale Schifffahrt wurde jetzt jedoch China und nicht etwa das Mekong Komitee, bzw. die Mekong Kommission oder westliche Staaten.

Im Jahre 1990 wurde eine erste Expedition von China gemeinsam mit Laos während der Trockenzeit von Jinghong bis Luang Prabang durchgeführt. Im selben Jahr wurde eine zweite Expedition gegen Ende der Monsunzeit von Jinghong bis nach Vientiane durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Expeditionen werden

²⁹Interim Mekong Committee (IMC)

³⁰Revised Indicative Basin Plan

unterschiedlich interpretiert. Während nach Ding [1993] sich zeigte, dass der Lancang - Mekong nur für fünf bis sechs Monate während der Regenzeit schiffbar sei, wird in JEWG [2001] hingegen von zwei erfolgreichen Expeditionen in 1990 gesprochen, die gezeigt hätten, dass der Lancang-Mekong von Jinghong bis Vientiane gut zur ganzjährigen Schifffahrt geeignet sei.

2.3.1 Erkundungsexpedition von China, Laos, Myanmar und Thailand 1993

In 1991 wurde Kambodscha auf eigene Bitte wieder in das Mekong Komitee aufgenommen und im Jahr 1992 vereinbarten China und Laos eine weitere Studie zur Schiffbarkeit des Lancang-Mekong durchzuführen. Dazu startete am 17. Februar 1993, während der Niedrigwasserperiode des Flusses, eine Expedition, bestehend aus einem Expertenteam mit Teilnehmern aus China, Laos, Myanmar und Thailand.³¹ Die Expedition dauerte insgesamt 83 Tage. Stromschnellen und Untiefen wurden auf 361 Flusskilometern kartiert und in dem Abschlussbericht der Expedition dargestellt. Wasserbauliche Maßnahmen zur erheblichen Verbesserung der Navigation auf dem Lancang - Mekong werden vorgeschlagen. Die Expedition und deren Ergebnisse sind in (Ding [1993]) dargestellt, welchem die nachfolgenden Informationen entnommen wurden.

Zur Zeit der Expedition fuhren auf dem Lancang-Mekong Holzschiffe mit einer Länge von 13-24 Metern und einer Breite von 1,6- 2,8 Metern. Maximaler Tiefgang lag zwischen 0,5 bis 0,7 Metern bei einer zulässigen Zuladung von 2-15 Tonnen. Während der Expedition wurden topographische Vermessungen, sowie Messungen von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten durchgeführt. In dem untersuchten Flussabschnitt wurden 100 Stromschnellen bzw. Untiefen identifiziert.

Der Expeditionsbericht schlussfolgert, dass ohne Veränderungen der Flussbettsohle sowie weiteren strombaulichen Maßnahmen, Schiffe mit einer Beladung von bis zu 60 Tonnen (Schiffslänge auf 30 m begrenzt, Schiffsbreite bis 6 m und maximaler Tiefgang 1,0 m) ganzjährig auf diesem Flussabschnitt fahren können, bei einer Mindestwassertiefe von 1,5 Metern, die auf 99 % der Strecke erreicht wird. Nach Durchführung einiger strombaulicher Maßnahmen und der Regulierung von 69 Stromschnellen (davon 7 im Abschnitt China / Myanmar, 50 im Abschnitt Laos / Myanmar und 12 im Abschnitt Laos / Thailand) könnten Schiffe bis 100 DWT auf dem Flussabschnitt navigieren.³²

Weitere 51 Stromschnellen müssten reguliert werden,³³ um die Fahrt für Frachter bis 300 DWT zu ermöglichen.³⁴ Allerdings wären auch nach Durchführung der strombaulichen Maßnahmen noch bei einigen Stromschnellen Navigationshilfen notwendig, wie zum Beispiel Poller am Ufer zum Befestigen von Windenseilen, mit deren Hilfe die Schiffe während der Bergfahrt getreidelt werden.

Der Bericht zeigt sich ambitioniert, mit dem finalen Ziel, den Mekong für Schubverbände bis 4 x 500 DWT von China bis zur Mündung des Mekong in Vietnam schiffbar zu machen. Als Voraussetzung dafür wird

³¹Das Team bestand aus 20 Ingenieuren und Technikern, einem Arzt, sowie einer Schiffsbesatzung von neun Mann.

³²Bei einer Navigationsbreite von 30 Metern, einem Mindestkurvenradius von 260 Metern und einer Mindestwassertiefe von 1,5 Metern an 95 % der Tage eines Jahres

³³Davon eine im Abschnitt China / Myanmar, vierzig im Abschnitt Laos / Myanmar und zehn im Abschnitt Laos / Thailand.

³⁴Bei einer Navigationsbreite von 40 Metern, einem Mindestkurvenradius von 300 Metern und einer Mindestwassertiefe von 2,0 Metern an 95 % der Tage eines Jahres

jedoch auch der Bau mehrerer Talsperren in China (die sogenannte Untere Lancang Dammkaskade, siehe hierzu Kapitel 2.5.2) genannt, die den Fluss zum Nutzen der Schifffahrt regulieren können.

2.3.2 Abkommen zur freien Navigation auf dem Lancang-Mekong 1994

Nach Abschluss der gemeinsamen Mekongexpedition in 1993 wurde eine technische Arbeitsgruppe³⁵ durch die vier Staaten China, Laos, Myanmar und Thailand gegründet, die zum ersten Mal vom 18.-21. Januar 1994 in Kunming tagte und technische Details zur Entwicklung des Lancang-Mekong ausarbeitete (siehe hierzu die Einführungen zu AoCN [2000] / AoCN [2001] von Sirichote u. Khiaotai [2014]). Im Oktober desselben Jahres wurde ein Abkommen zur ungehinderten Navigation auf dem Lancang-Mekong unterzeichnet³⁶ und die Häfen in diesem Bereich für alle Schiffe der vier Nationen geöffnet (Lazarus u. a. [2006]). Dieses Abkommen kann als Beginn der kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong angesehen werden.

2.3.3 Studie des Mekong Sekretariat zur Navigation auf dem Lancang-Mekong 1994

Im Jahr 1994 wurde eine Studie zur strategischen Entwicklung der Navigation auf dem Lancang-Mekong³⁷ vom Mekong Sekretariat³⁸ erstellt (TMC [1994]). Diese Studie kann durchaus als Reaktion auf die, von China geleitete, Lancang-Mekong Expedition in 1993 (Kapitel 2.3.1) angesehen werden. Untersucht wurden drei verschiedene Entwicklungsszenarien (Niedrig, Mittel und Hoch) für Handelsrouten zwischen Kunming und Bangkok, den wichtigsten Handelszentren in der Region. Schwerpunkt wird dabei auf die Entwicklung des Mekong gelegt. Bemerkenswert ist, dass nicht nur der Abschnitt des Flusses zwischen dem Goldenen Dreieck und Luang Prabang untersucht wird, sondern auch der Lancang-Mekong vom Hafen Simao in China bis nach Chiang Saen, obwohl dieser Flussabschnitt zum größten Teil außerhalb des Mandats des Mekong Sekretariats ist, da China und Myanmar keine Mitglieder sind.

Die Studie erwartet eine wesentlich verbesserte Navigation auf dem Lancang-Mekong innerhalb Chinas durch die Durchführung der von der Erkundungsexpedition 1993 vorgeschlagenen strombaulichen Maßnahmen (siehe Kapitel 2.3.1) und den Ausbau der zugehörigen Infrastruktur. Für das Frachtaufkommen zwischen den Häfen in China und dem Hafen Chiang Saen wurde bis zum Jahr 2000 ein Volumen von 140 Tsd. Tonnen und bis 2010 von 1,4 Mio. Tonnen prognostiziert. Auch wenn es den Ausführungen in Kapitel 3 vorgreift, so ist es an dieser Stelle erwähnenswert, dass das tatsächliche Frachtaufkommen in Chiang Saen im Jahr 2011 etwa 250 Tsd. Tonnen (MRC [2013b]) betrug. Dies waren weniger als 20 Prozent des für 2010 prognostizierten Wertes.

Das Mekong Sekretariat empfiehlt für den Lancang-Mekong die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung, welche die Auswirkungen der vorgeschlagenen strombaulichen Maßnahmen im gesamten Einzugsgebiet des Mekong, bis hin zum Mekong Delta untersucht. Explizit erwähnt werden hier auch

³⁵Technical Working Group (TWG)

³⁶Agreement on Commercial Navigation on Lancang-Mekong River among the Governments of the People's Republic of China, the Lao People's Democratic Republic, the Union of Myanmar and the Kingdom of Thailand

³⁷Strategy Study on the Development of Upper Mekong Navigation

³⁸The Mekong Sekretariat

Untersuchungen zur Auswirkung der geplanten Maßnahmen auf das hydraulische und morphologische Regime des Flusses. Die Studie empfiehlt außerdem die Installation von Schifffahrtszeichen, den Bau von Hafenanlagen, die Inbetriebnahme von Fähren und Abkommen zum rechtlichen und institutionellen Rahmen der Navigation auf dem Mekong.

2.3.4 Die Neugründung der Mekong Kommission 1995

Ein weiterer wichtiger Meilenstein zur Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong ist das am 5. April 1995 in Chiang Rai unterzeichnete Abkommen zur nachhaltigen Entwicklung des Mekong,³⁹ das die Gründung der Mekong Kommission (MRC)⁴⁰ darstellt.⁴¹

Die Mekong Kommission ist die Nachfolgeorganisation des Mekong Komitees, mit den bisherigen Mitgliedstaaten Laos, Kambodscha, Thailand und Vietnam. Ziel der Kommission ist die nachhaltige Entwicklung des Mekong (MRC [1995b]). In den Statuten der Kommission ist die Kooperation zwischen den vier Mitgliedstaaten und die Funktion der einzelnen Organe⁴² der neugegründeten Organisation geregelt. Es gibt eine enge Kooperation der Mekong Kommission mit China und Myanmar (China und Myanmar sind Dialogpartner), jedoch wurden Hoffnungen, dass China oder Myanmar der Kommission beitreten würden, bisher nicht erfüllt.

Das Abkommen zur nachhaltigen Entwicklung des Mekong legt die Grundlagen zur gemeinsamen grenzüberschreitenden Entwicklung des Mekong fest (MRC [1995b]). In Artikel 5 und Artikel 26 des Abkommens wird die Nutzung der Wasserressourcen des Mekong behandelt und unter anderem festgeschrieben, dass Projekte mit dem Ziel der Wasserentnahme aus dem Mekong vor ihrer Umsetzung der offiziellen Konsultation aller Mitgliedsstaaten bedürfen. In Artikel 6 wird festgelegt, dass der natürliche Niedrigwasserstand durch zukünftige Projekte, wie etwa Bewässerungsvorhaben und Dämme, nicht unterschritten werden darf. Gleichzeitig wird postuliert, dass der Durchfluss während der Regenzeit nicht höher sein darf, als die durchschnittlichen Hochwasserereignisse und das Abflussverhalten des Flusses nach Projektimplementierung die Umkehrung der Fließrichtung des Tonle Sap weiterhin gewährleistet.⁴³ Wichtig für diese Dissertation ist insbesondere Artikel 9, in welchem die Navigationsfreiheit auf dem Mekong festgeschrieben wurde. Gemäß diesem Artikel dürfen sich alle Schiffe auf dem Mekong unabhängig von Landesgrenzen frei bewegen und dies muss auch in Zukunft gewährleistet sein. Künftige Projekte (wie z.B. der Bau von Staudämmen) dürfen die Schifffahrt nicht behindern.⁴⁴

³⁹ Agreement on the Cooperation for the Sustainable Development of the Mekong River Basin (MRC [1995b])

⁴⁰ Mekong River Commission (MRC)

⁴¹ Erwähnenswert ist es an dieser Stelle, dass seit der Gründung des Mekong Komitee im Jahr 1957 bis zum Jahr 1995 über 500 Mio Dollar in die Entwicklung des Mekong investiert wurden (MRC [1995a]). Heute wie damals werden Projekte der Mekong Kommission zum größten Teil von westlichen Staaten finanziert.

⁴² Council, Joint Committee and Secretariat

⁴³ Der Tonle Sap ist ein Fluss in Kambodscha, der den Mekong mit dem Tonle Sap See verbindet. Während in der Monsunzeit Wasser vom Mekong in den Tonle Sap See fließt, kehrt sich die Fließrichtung des Tonle Sap Flusses in der Trockenzeit um und Wasser fließt vom See in den Mekong. Während der Regenzeit erreicht der See ein Vielfaches seiner Ausdehnung die er während der Trockenzeit hat.

⁴⁴ Artikel 9: "On the basis of equality of right, freedom of navigation shall be accorded throughout the mainstream of the Mekong River without regard to the territorial boundaries, for transportation and communication to promote regional cooperation and to satisfactorily implement projects under this Agreement. The Mekong River shall be kept free from obstructions, measures, conduct and actions that might directly or indirectly impair navigability, interfere with this right or permanently make it more difficult. Navigational uses are not assured any priority over other uses, but will be incorporated into any mainstream

2.3.5 Abkommen zur kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong 2000

Seit der Mekong Expedition im Jahr 1993 (Kapitel 2.3.1) trifft sich ein technisches Arbeitskomitee TWG⁴⁵ der vier Anrainerstaaten des Lancang-Mekong unter chinesischer Leitung regelmäßig, um die weitere Entwicklung des Flusses zu planen und die Durchführung zu koordinieren.

In der zweiten Sitzung des TWG⁴⁶ wurde im Jahr 2000 ein Expertenteam der Anrainerstaaten⁴⁷ zusammengestellt, das auf Grundlage der Ergebnisse der Mekongexpedition von 1993, weiterführende Untersuchungen auf dem Fluss durchführen und eine Machbarkeitsstudie erstellen sollte, als Basis zur Durchführung konkreter Maßnahmen.

Die Studie empfiehlt weiterführende Vermessungen und Untersuchungen in den Flussabschnitten, in welchen Sprengungen im Flussbett vorgesehen sind, um so die Datenbasis für die Planung zu verbessern. Die Landesgrenzen zwischen China und Myanmar, sowie zwischen Laos und Myanmar wurden bereits in den vorigen Jahren durch entsprechende Verträge festgelegt. Eine Änderung des Flusslaufes in Folge der Sprengungen wird daher als politisch nicht relevant erachtet. Trotzdem werden Maßnahmen zum Erosionsschutz und Uferschutz empfohlen.

Neben umfangreichen Sprengungen im Flussbett,⁴⁸ sollen Schifffahrtszeichen und Navigationshilfen installiert werden. Nach der Durchführung der Maßnahmen soll der Flussabschnitt von Simao Hafen bis Vientiane (!) für Schiffe bis zu 100 DWT passierbar sein. Es wird erwartet, dass die Sprengungen innerhalb zweier Trockenperioden durchgeführt werden können und dadurch weder eine Änderung des Flusslaufes noch des Fließverhaltens eintritt. Vor dem Beginn der Implementierung wird die Erstellung einer Umweltverträglichkeitsprüfung und eine umfangreiche Datenaufnahme gefordert.

Die Durchführung der Maßnahmen wurde in drei Implementierungsphasen⁴⁹ vorgeschlagen, wobei für alle drei Phasen die Navigation auf dem Lancang-Mekong jeweils an 95 % der Tage im Jahr gewährleistet sein soll:

- Phase 1: Schifffbar für 100 DWT Schiffe
- Phase 2: Schifffbar für 300 DWT Schiffe
- Phase 3: Schifffbar für 4 x 500 DWT Schiffsverbände

Im März 2001 wurden die Anhänge I-VI zum Abkommen zur kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong unterzeichnet und damit die vertraglichen Rahmenbedingungen zur freien Navigation aller Schiffe der vier Anrainerstaaten auf dem etwa 800 km langen Flussabschnitt (JEWG [2000]) zwischen Simao Hafen und Luang Prabang festgelegt.

project. Riparians may issue regulations for the portions of the Mekong River within their territories, particularly in sanitary, customs and immigration matters, police and general security.” MRC [1995b]

⁴⁵Technical Working Group (TWG)

⁴⁶17. - 29. November 2000

⁴⁷Neun Experten aus China, und jeweils vier aus Laos, Myanmar und Thailand.

⁴⁸Sprengung von Felsen bei mehreren Untiefen und Stromschnellen (11 major rapids, shoals und 10 scattered reefs). Insgesamt wurde anfallender Abraum von 116 300 m³, davon 3 360 über Wasser und 42 700 m³ unter Wasser berechnet.

⁴⁹Dies entspricht den Empfehlungen der im Jahr 1993 durchgeführten Studie (vgl.2.3.1).

2.3.6 Durchführung strombaulicher Maßnahmen zur Verbesserung der Navigation

Nach der Unterzeichnung des Abkommens zur kommerziellen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong wurde neben der technischen Arbeitsgruppe (siehe Kapitel 2.3.2) ein Komitee zur Koordination der kommerziellen Navigation eingerichtet,⁵⁰ welches die Planungen für den Flussausbau durchführte (JEWG [2001]). Dem von diesem Komitee im Jahr 2001 erstellten Planungsbericht⁵¹ sind die folgenden Informationen entnommen.

Zur Planung des Flussausbaues im Abschnitt Guan Lei bis Chiang Khong wurden zwischen dem 18. und 29. April 2001 von insgesamt 81 Experten Vermessungen durchgeführt, sowie Daten gesammelt und ausgewertet. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Vermessung von Felsen und Untiefen, die u.a. mit Hilfe von Sonar durchgeführt wurden, und auf der Messung von Fließgeschwindigkeiten an den Felsenriffen. Mit einem mathematischen Modell wurden für drei Untiefen exemplarisch die hydraulischen Verhältnisse simuliert. Eine Modellierung für den gesamten 331 km langen Flussabschnitt wurde für unterschiedliche Wasserstände durchgeführt.⁵²

Wie in vorigen Untersuchungen festgestellt wurde, behindern insgesamt 94 Untiefen die Navigation. Davon werden 11 Untiefen und 10 einzelne Felsenriffe als Haupthindernisse klassifiziert, deren Beseitigung entscheidend für eine sichere Navigation auf diesem Flussabschnitt ist. Der Planungsbericht erwähnt, dass sich zwischen 1999 und 2000 sieben Schiffsunglücke von Frachtern mit 40 - 50 DWT ereigneten, mit insgesamt acht Toten.

Zur Zeit der Planungen gab es zehn Häfen im Flussabschnitt zwischen China und Thailand und es fuhren etwa 100 Frachter bei einem Handelsvolumen von 300 000 Tonnen/a. Es wurde erwartet, dass im Jahr 2010 1,5 Mio. Tonnen Fracht und 400 000 Touristen auf dem Fluss unterwegs sein werden (diese Erwartungen wurden bei weitem verfehlt, vergleiche hierzu auch Kapitel 2.3.3). In Abbildung 2.2 ist die typische Charakteristik des Flussabschnittes zwischen Guan Lei und Chiang Saen zu sehen.



Abbildung 2.2: Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong - im rechten Bild ein havariierter Frachter

⁵⁰Joint Committee on Coordination of Commercial Navigation on the Lancang-Mekong River (JCCCN)

⁵¹Conceptual Design Report on Local Channel Improvement Project of Upper Mekong River (JEWG [2001])

⁵²Dies ist im Bericht nicht weiter spezifiziert, aber es kann sich hierbei nur um eine 1-dimensionale Modellierung handeln.

Die Planungen sahen eine Fahrrinnenbreite von 22 Metern für Richtungs- und 30 Metern für Begegnungsverkehr vor, sowie eine Mindestwassertiefe von 1,5 Meter und einen Mindestkurvenradius von 260 Metern. Während 95% der Tage soll die Navigation für Schiffe mit 100 - 150 DWT möglich sein.⁵³ Ziel der Erhöhung der maximalen Tonnage der Frachter ist die Senkung der Transportkosten. Stromaufwärts von Guan Lei bis zum Hafen von Simao konnten zu dem Zeitpunkt der Planungen Schiffe mit einer Zuladung von 100 Tonnen fahren.

Für die einzelnen Felsenabschnitte wurden meist mehrere Optionen diskutiert und die jeweils notwendigen Sprengmengen berechnet.⁵⁴ An sechs Stellen wurde die Einrichtung von Pollern für die Befestigung von Seilwinden geplant, an denen die Schiffe stromaufwärts mit Seilwinden getreidelt werden können. Desweiteren wurde die Einrichtung von über 200 Schifffahrtszeichen geplant.

Parallel zu den Planungsunterlagen wurde eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) erstellt. Die von der TWG erstellten Planungsentwürfe umfassten den Flussabschnitt Guanlei bis Chiang Khong/Houy Xay und wurden Anfang 2002 von den Parlamenten der Anrainerstaaten offiziell ratifiziert (JEWG [2001]).

Bei kritischer Durchsicht der Planungen fällt auf, dass die Abschnitte vom Hafen Simao bis Guanlei, sowie von Chiang Khong bis Luang Prabang ausgeklammert wurden (siehe hierzu auch Kapitel 2.3.5). Daher werden schwierige Passagen etwas stromabwärts von Chiang Khong nicht berücksichtigt, insbesondere ein sehr felsiger Flussabschnitt mit vielen Untiefen kurz bevor der Mekong den laotisch-thailändischen Grenzverlauf verlässt. Eine mögliche Erklärung hierzu könnte sein, dass der geplante Bau des Pak Beng Damm in Laos bereits berücksichtigt wurde (siehe hierzu Ausführungen in Kapitel 2.5.3).

Die oben erwähnte Umweltverträglichkeitsprüfung wurde von mehreren Wissenschaftlern stark kritisiert und die Mekong Kommission gab eine Evaluierung der UVP in Auftrag. Dies geschah auf Initiative von Kambodscha und Vietnam, die beide einen negativen Einfluss des Projektes auf die Fischbestände befürchteten. Der Evaluierungsbericht (Cocklin u. Hain [2001]) kommt zu dem ernüchternden Ergebnis, dass die UVP substantiell unzulänglich und in vielen Bereichen fundamental mangelhaft ist.⁵⁵ In den betroffenen Gebieten in Thailand (Distrikt Chiang Saen und Chiang Khong) meldeten mehrere Nichtregierungsorganisation (NRO) ihre Bedenken an.

Trotz der vielfältigen Kritik wurde die UVP im Jahr 2002 von allen beteiligten Staaten akzeptiert, zuletzt von Laos im März 2002 (Lazarus u. a. [2006]). Das thailändische Parlament verabschiedete jedoch im selben Jahr eine Resolution, die die Sprengung der Felsen im Mekongabschnitt zwischen Chiang Saen und Chiang Khong suspendiert, unter anderem, um vorher gemeinsam mit Laos den genauen Grenzverlauf festzulegen. Außerdem wurde das thailändische Umweltministerium damit beauftragt, eine eigene UVP durchzuführen. Diese neue UVP wurde im Juni 2004 fertiggestellt (TEAM u. CRU [2004], siehe folgendes Kapitel).

⁵³Vor Implementierung der Maßnahmen war während der Trockenzeit der mögliche Tiefgang der Schiffe weniger als ein Meter, was eine maximalen Tonnage von weniger als 50 Tonnen zur Folge hatte.

⁵⁴Bei einer Durchführung der favorisierten Varianten ergibt sich ein Sprengvolumen von etwa 64 000 m³ über Wasser und 76 000 m³ unter Wasser (im Bereich der Kon Pi Luang 8 200 m³ bzw. 14 000 m³ Unterwassersprengung), daneben noch 11 000 m³ Ausbaggerung in alluvialen Bereichen. Diese Mengen sind deutlich höher als die in Ding [1993], vgl. Kapitel 2.3.1.

⁵⁵„Substantively inadequate and in many places fundamentally flawed“, (S.2) in (Cocklin u. Hain [2001])

In den Jahren 2002 - 2004 wurden die Sprengungen der Felsenriffe im Flussabschnitt von Guan Lei bis nach Chiang Saen durchgeführt. Die Standorte der Sprengstellen sind in Yang u. a. [2006] dargestellt. Die Implementierung der Maßnahmen wurde von China finanziert.

2.3.7 Implementierungsstopp weiterer strombaulicher Maßnahmen

Die vom thailändischen Umweltministerium in Auftrag gegebene Umweltverträglichkeitsprüfung wurde von einem thailändischen Ingenieurbüro⁵⁶ erstellt (TEAM u. CRU [2004]). Im Rahmen dieser UVP wurde für einen drei Kilometer langen Abschnitt bei den Pi Luang Felsen eine numerische Simulation mit dem zweidimensionalen Simulationsprogramm Mike21 von DHI Software durchgeführt.⁵⁷ Dazu wurden die Vermessungen, die während der Entwurfsplanungen (JEWG [2000]) an diesem Felsenabschnitt durchgeführt wurden, als Grundlage genommen. Die Simulation ergab, dass die Sprengungen in diesem Bereich nur sehr geringe Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit, den Wasserspiegel und die Ufererosion haben.⁵⁸

In der neuen UVP wird insgesamt geschlussfolgert, dass die Auswirkungen auf die Umwelt und das Umfeld sehr gering seien (TEAM u. CRU [2004]). Es wird beklagt, dass es sehr schwierig sei, verlässliche Daten von der chinesischen Seite (Bau der Dämme, Management der Dämme, tatsächliche Planung der Sprengungen, etc.) zu bekommen. Die UVP schlägt vor, öffentliche Diskussionen unter Einbeziehung der Bevölkerung durchzuführen. Gleichzeitig solle ein Plan erstellt werden, wie die Umwelt, Gesellschaft, Kultur etc. geschützt und gefördert werden. Schließlich empfiehlt die UVP, vor dem Beginn der Sprengungen eine Vermessung der gemeinsamen thailändisch - laotischen Grenze durchzuführen und den Grenzverlauf bilateral festzulegen.

2.4 GMS Programm der asiatischen Entwicklungsbank

Die Asiatische Entwicklungsbank (ADB)⁵⁹ wurde 1966 gegründet und hat eine ähnliche Ausrichtung wie die Weltbank, wobei der Fokus allerdings auf Asien gerichtet ist. Fast 70 Staaten sind Mitglieder, darunter auch Deutschland. In 1992 wurde das Programm der Mekong-Großregion (GMS)⁶⁰ von der ADB initiiert. Als GMS wird ein Gebiet bezeichnet, dass sich über sechs Länder erstreckt: Kambodscha, Laos, Myanmar, Thailand, Vietnam und die chinesische Provinz Yunnan, sowie seit 2004 auch Guangxi (ADB [2008]). Die Fläche beträgt 2 600 000 km² und es leben in diesem Gebiet fast 330 Millionen Menschen (ADB [2012]). Zur

⁵⁶TEAM Consulting Engineering and Management Co., Ltd

⁵⁷Dafür wurden drei verschiedene Gitternetze generiert, 50×50 m, 30×30 m und 10×10 m. Die berechnete Rauigkeit wurde nach Manning basierend auf acht Flussquerschnitten in dem Abschnitt mit $n=0,03028$ und $M=33,84678$ ermittelt.

⁵⁸Die Simulationen wurden für 787 m³/s und 13 240 m³/s durchgeführt. 787 m³/s ist die in 95% des Jahres vorhandene Abflussmenge und 13 240 m³/s ein zehnjähriges Hochwasser JEWG [2000]. Die Simulation ergab, dass die Sprengungen in diesem Bereich nur sehr geringe Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit (bei Niedrigwasser: -0,012 bis +0,004 m³/s; bei Hochwasser: -0,025 bis +0,011 m³/s), den Wasserspiegel (bei Niedrigwasser: -0,002 bis +0,001 m; bei Hochwasser: -0,009 bis +0,009 m) und Ufererosion hat. Die Datenbasis ist gemäß der Abbildungen in der UVP allerdings sehr begrenzt.

⁵⁹Asian Development Bank (ADB)

⁶⁰Greater Mekong Subregion (GMS)

Koordination werden jährliche Konferenzen durchgeführt⁶¹ und seit 2002 finden alle drei Jahre Gipfeltreffen mit Vertretern aus den GMS Staaten statt.

Von der ADB wird die Entwicklung in den Bereichen Energie, Landwirtschaft, Tourismus, Umwelt, Humankapital, Infrastruktur und Telekommunikation gefördert. Dabei wird die Entwicklung von sogenannten Wirtschaftskorridoren durch den Bau von Infrastrukturmaßnahmen, wie Straßenbau, Eisenbahn und Flussausbau propagiert und durch Kreditvergaben vorangetrieben. Der größte Teil der Kredite wird für Infrastrukturmaßnahmen im Transport- (90%) und Energiesektor (9%) vergeben. Gemäß des GMS Programms soll bis 2021 das Eisenbahnnetz von Thailand mit den Eisenbahnnetzen der Nachbarstaaten verbunden sein, inklusive einer Anbindung an China (Ongdee [2014]).

Interessant und von Bedeutung für diese Arbeit ist der Nord-Süd-Korridor, der Südchina mit Bangkok und Singapur verbindet (vergleiche hierzu Abbildung 1.1). Im Rahmen des GMS Programms wurde dazu der Bau der bereits erwähnten asiatischen Fernstraße AH3 unterstützt, und hier insbesondere der Bau der Teilstrecke R3E/R3a die von Jinghong nach Houay Xay bzw. Chiang Khong führt (Fertigstellung der Teilstrecke im Jahr 2008, Lückenschließung mit der Eröffnung der Brücke über dem Mekong in 2013). Außerdem hat die weitere Entwicklung der Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong hohe Priorität. In der Projektbeschreibung in GMSS [2013] wird der weitere Ausbau des Flusses bis nach Luang Prabang aufgeführt. Die Finanzierung dazu soll von China kommen. Es ist jedoch kein spezifisches Datum angegeben, wann die Arbeiten beginnen bzw. abgeschlossen werden sollen.⁶²

2.5 Mekong Dammkaskaden

Der Mekong hat in den letzten Jahren eine Übergangsphase von einem ungezähmten, naturbelassenen Fluss, der seinen Ursprung im Himalaya hat, zu einem durch Dämme geregelten Fließgewässer durchgemacht. Insgesamt 19 Dämme sind im Mekong geplant, zusätzlich zu den über 70 Dammprojekten in seinen Zuflüssen (ICEM [2010]). In Abbildung 2.3 ist eine Übersicht über die geplanten und bereits fertiggestellten Dämme im Hauptstrom des Mekong gegeben. Im folgenden werden die Obere und Untere Lancang Dammkaskade, sowie die Mekong Dammkaskade vorgestellt.

⁶¹GMS Ministerial Conference

⁶²“Further Maintenance and Improvement of the Upper Mekong River Navigation Channel from the PRC at Landmark 243 and Myanmar to Luang Prabang, in the Lao PDR. Under the framework of the Agreement on Commercial Navigation of the Lancang-Mekong River, signed by the PRC, Lao PDR, Myanmar, and Thailand, the Chinese government has provided USD 5 million for the improvement of the Upper Mekong River navigation channel—from the PRC (at Landmark 243) and Myanmar to Houayxay, in the Lao PDR. The Lao PDR, Myanmar and Thailand have expressed their hope that the PRC could, under the agreement, extend the navigable channel down to Luang Prabang, in Lao PDR, and continue to offer funding for Phase II of the maintenance and improvement of the Upper Mekong River navigation channel. The Fourth Summit of the GMS Economic Cooperation Program, held in Myanmar in December 2011, recognized the further maintenance and improvement of the Upper Mekong River navigation channel as an important part of its regional connectivity project. To implement this decision, the PRC will provide funds to enable the four countries to jointly formulate the mid- and long-term planning for the development of international navigation of the Lancang-Mekong River and to study measures for further strengthening navigation safety. The implementation of the project will ensure the navigational safety of the Upper Mekong River navigation channel, promote the development of international navigation among the four countries, and enhance connectivity within the region” (GMSS [2013]).

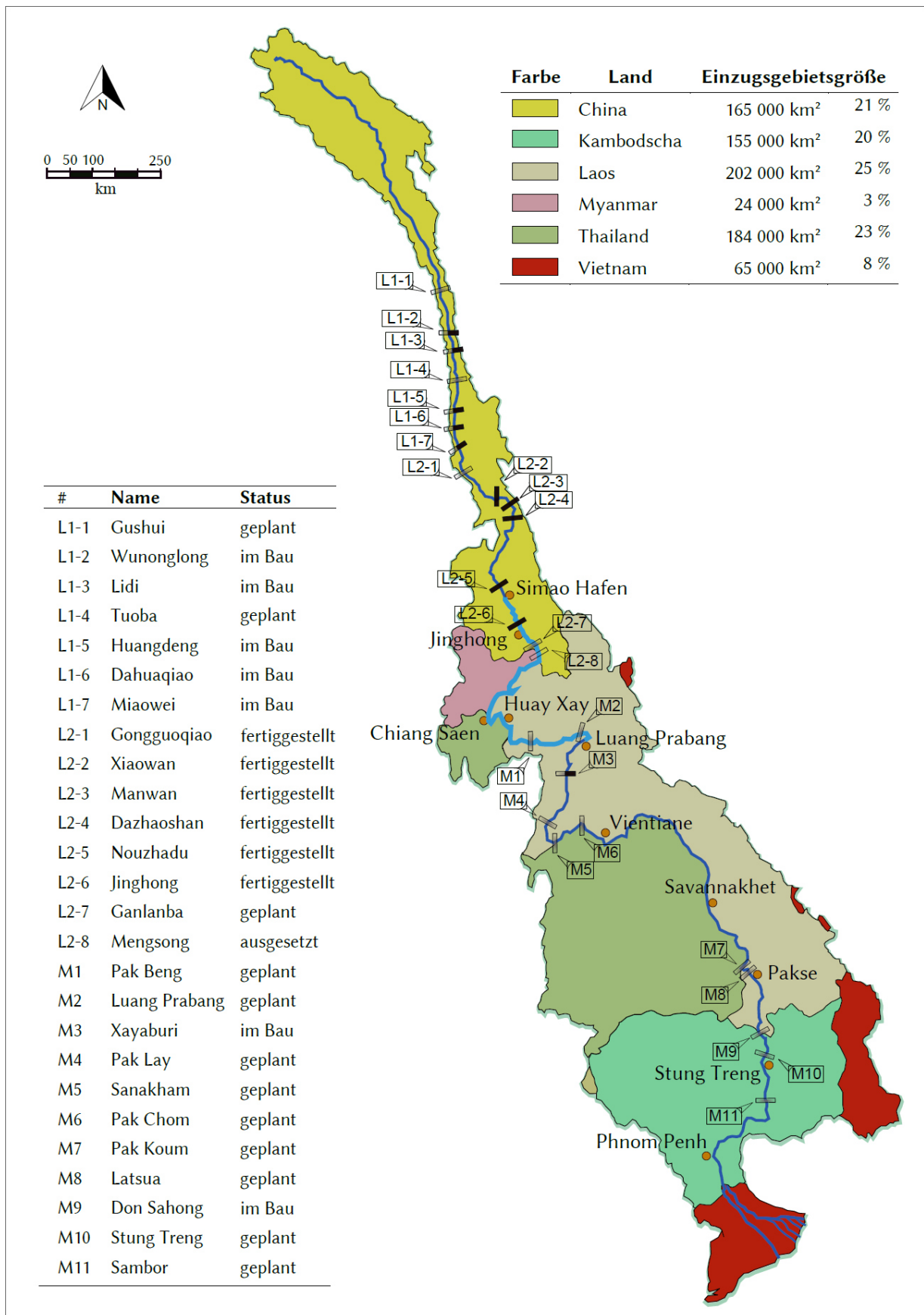


Abbildung 2.3: Fertiggestellte und geplante Dämme im Mekong sowie Einzugsgebiete nach Ländergrenzen (Dammstandorte nach Stone [2011] und IR [2013], Einzugsgebiete nach ADB [2012])

2.5.1 Die Obere Lancang Dammkaskade

Die obere Lancang Dammkaskade besteht aus sieben Dämmen (Magee [2012]) von denen alle entweder in der Bauausführung oder in der Endphase der Planung sind (IR [2013]). Der Damm mit dem größten Stauvolumen wird der Tuoba Damm sein, mit einem Volumen von 5 150 Mio. m³. In Tabelle 2.1 sind die Dämme aufgelistet. Hierbei ist zu erwähnen, dass stromaufwärts dieser Kaskade weitere Dämme im Hauptstrom des Flusses geplant sind (IR [2013]).

Tabelle 2.1: Obere Lancang Dammkaskade (nach Magee [2012] und IR [2013])

Nr. [-]	Dammname [-]	Dammhöhe [m]	Stauraum [Mio. m ³]	Status [-]
L1-1	Gushui	220	k.A.	geplant
L1-2	Wunonglong	137	265	im Bau
L1-3	Lidi	74	75	im Bau
L1-4	Tuoba	158	5 150	geplant
L1-5	Huangdeng	202	1 549	im Bau
L1-6	Dahuaquiao	106	230	im Bau
L1-7	Miaowei	140	2 150	im Bau

2.5.2 Die Untere Lancang Dammkaskade

Im Jahre 1996 wurde der erste Staudamm der unteren Dammkaskade im Lancang-Mekong fertiggestellt, der Manwan Damm. In den darauffolgenden Jahren wurden fünf weitere Projekte implementiert: der Gongguoqiao Damm, Xiaowan Damm, der Dazhaoshan Damm, der Nuozhadi Damm und der Jinghong Damm. Damit ist die untere Lancang Dammkaskade fast komplett. In Planung sind noch zwei weitere Bauvorhaben, der Ganlaba Damm (der hauptsächlich der Regulierung des Abflusses für die Schifffahrt dienen soll) und der Mensong Damm. Nach unterschiedlichen Informationen ist Letzterer auf unbestimmte Zeit verschoben, beziehungsweise ganz annulliert worden. In Tabelle 2.2 ist eine Übersicht über die erwähnten Dämme gegeben.

Von der unteren Lancang Dammkaskade sind insbesondere die Xiaowan Talsperre und die Nuozhadu Talsperre hervorzuheben. Sie werden mit einem Gesamtstauraumvolumen von 36 960 Millionen Kubikmetern (14 560 Millionen Kubikmeter und 22 400 Millionen Kubikmeter) das Abflussverhaltens des Mekong ganz entscheidend verändern.⁶³ Das Gesamtstauraumvolumen der unteren Lancang Dammkaskade ist größer als das des Drei-Schluchten-Dammes, der ein Stauraumvolumen von 39 300 Millionen Kubikmetern hat.

⁶³Ein Vergleich mit der größten deutschen Talsperre, der Bleiloch Talsperre (Saale) in Thüringen, die mit 215 Mio m³ Stauraumvolumen dagegen verschwindend klein ist (Stauraumvolumen gemäß Angabe Deutsches Talsperren Komitee e.V.), veranschaulicht die Größenordnung.

Tabelle 2.2: Untere Lancang Dammkaskade (nach MRC [2003b], Dore u. Yu [2004], Aquastat [2011] und IR [2013])

Nr.	Dammname	Dammhöhe	Gesamter Stauraum	Nutzbarer Stauraum	Durschnittlicher Zufluß	Fertigstellung
[-]	[-]	[m]	[Mio. m³]	[Mio. m³]	[m³/s]	[a]
L2-1	Gongguoqiao	130	510	120	985	2012
L2-2	Xiaowan	292	14 560	9 900	1 220	2011
L2-3	Manwan	126	920	257	1 230	1996
L2-4	Daochaoshan	118	933	367	1 230	2004
L2-5	Nuozhadu	262	22 400	12 300	1 750	2014
L2-6	Jinghong	118	1 233	249	1 840	2008
L2-7	Ganlaba	61	-	-	1 880	vor 2025
L2-8	Mengsong	-	-	-	2 020	ungewiß
Gesamt			40 556	23 193		

2.5.3 Die Mekong Dammkaskade

Seit den Erkundungsexpeditionen von ECAFE in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts ist der Bau von Dämmen im Hauptlauf des Mekong im Gespräch. Allerdings wurde, bedingt durch die politischen Wirren im letzten Jahrhundert, keines der Dammprojekte bisher implementiert. Seit 2012 ist jedoch der Xayaburi Damm im Bau und bei dem Don Sahong Damm haben die Vorbereitungen ebenso begonnen. Durch die Implementierung der unteren Lancang Dammkaskade und die dadurch zu erwartende Veränderung des Abflussverhaltens des Mekong, mit deutlich mehr Abfluss während der Trockenperiode, sind die Dämme im Mekong wieder in den Fokus gerückt. Der höhere Abfluss in der Trockenzeit ermöglicht einen wirtschaftlichen Betrieb der Dämme zur Stromerzeugung mit zum Teil deutlich niedrigeren Dammhöhen im unteren Abschnitt des Mekong. Anders als bei den Stauanlagen in China, handelt es sich bei den meisten nun geplanten Flusskraftwerken um Niederdruckanlagen (Laufwasserkraftwerke) und Mitteldruckanlagen (MRC [2010]). Dies war in dem IBP Bericht zum unteren Mekong Einzugsgebiet (siehe auch Kapitel 2.2.4), erstellt im Auftrag der Mekong Kommission in 1970 (MC [1970]), noch anders. In dem Bericht wurde der Bau von Dämmen mit erheblich größeren Stauraumvolumen empfohlen, zum Beispiel für den Luang Prabang Damm ein Stauraumvolumen von 10 700 Mio. m³ (Dammhöhe: 76 m, maximaler Wasserstand: 355 m.ü.NN.) und für Stung Treng Damm 46 500 Mio. m³ (Dammhöhe: 44 m, Maximaler Wasserstand: 40 m.ü.NN.).

Tabelle 2.3: Mekong Dammkaskade (nach ICEM [2010])

Nr. [-]	Land [-]	Dammname [-]	Dammhöhe [m]	Stauraum [Mio. m ³]	Status [-]
M1	Pak Beng	Laos	76	442	geplant
M2	Luang Prabang	Laos	68	734	geplant
M3	Xayaburi	Laos	32	225	im Bau
M4	Pak Lay	Laos	35	384	geplant
M5	Sanakham	Laos	38	106	geplant
M6	Pak Chom	Laos/Thailand	22	12	geplant
M7	Pak Koum	Laos/Thailand	19	-	geplant
M8	Lat Sua	Laos	27	-	geplant
M9	Don Sahong	Laos	8	115	im Bau
M10	Stung Treng	Kambodscha	22	70	geplant
M11	Sambor	Kambodscha	56	465	geplant

Von den 11 geplanten Dämmen im Mekong sind sieben in Laos, zwei im Bereich der laotischen - thailändischen Grenze und zwei in Kambodscha gelegen. Tabelle 2.3 führt die geplanten Dämme auf. Für diese Dissertation wichtig ist der Pak Beng Damm, für den der maximale Wasserstand im Reservoir in den aktuellen Planungen von ursprünglich 345 m.ü.NN. auf 340 m.ü.NN. reduziert wurde (ICEM [2010]). Demnach wird die Stauwurzel nur etwas stromabwärts von Chiang Khong liegen.⁶⁴

⁶⁴Bei einem $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ beträgt der Wasserspiegel bei Chiang Khong 344 m.ü.NN.

Tabelle 2.4: Ereignisse relevant zur Entwicklung der Schifffahrt auf dem Mekong

Jahr	Ereignis
Vor 1800	Gründung wichtiger Städte am oberen Mekong (Jinghong, Chiang Saen, Chiang Khong und Luang Prabang). Navigation zwischen Chiang Saen und Luang Prabang.
1867 - 1868	Französische Mekong Expedition
1897	Einrichtung eines Messpegels am Mekong in Vientiane; Messpegel in Luang Prabang, Savannakhet und Pakse folgten in 1905. Ablesung täglich. ^{T1}
1925	Abkommen zur freien Navigation auf dem Mekong zwischen Siam und Frankreich (Treaty of Friendship, Commerce and Navigation 14. Februar 1925 in Paris). ^{T2}
1947	Einrichtung UN-Wirtschaftskommission für Asien und den Fernen Osten (ECAFE)
1949	Gründung einer Hochwasserschutzbehörde durch ECAFE (Flood Control Bureau, später Bureau of Flood Control and Water Resources Development)
1952	Schreibtischstudie zum Mekong durch ECAFE ^{T3}
1955 - 1956	Mekong Studie durch das US Innenministeriums (Bureau of Reclamation)
1956	Mekong Expedition ECAFE
1956	Einrichtung eines Messpegels am Mekong in Chiang Saen ^{T4}
1957	Gründung des Mekong Komitees (Committees for Coordination of the Comprehensive Development of the Lower Mekong Basin)
1959	Wheeler Mekong Bericht
1962	Ford Studie über den Mekong
1970	Veröffentlichung Indikativer Mekong Stromgebietsplan (IBP)
1975	Austritt Kambodschas aus dem Mekong Komitee
1978	Gründung provisorisches Mekong Komitee (Interim Mekong Committee (IMC))
1992	Beginn des GMS Programms der asiatischen Entwicklungsbank
1993	Expedition Anrainerstaaten zur Erkundung der Schiffbarkeit des Lancang-Mekong
1994	Abkommen zur freien Navigation auf dem Lancang-Mekong ^{T5}
1995	(Neu)Gründung der Mekong Kommission (MRC)
1996	Fertigstellung der ersten Talsperre im Mekong (Manwantalsperre in China)
1996	Erstellen eines Hydrographischen Atlas' für den Mekong durch MRC
2000	Abkommen zur kommerziellen Navigation auf dem Lancang-Mekong (China, Laos, Myanmar und Thailand, in 2001 Unterzeichnung der Vertragsanhänge)
2000	Durchführung einer Machbarkeitsstudie zur Navigation auf dem Lancang-Mekong
2001	Entwurfsplanung und UVP zum Ausbau der Navigation auf dem Lancang-Mekong
2002 - 2006	Sprengungen von Felsen im Flussabschnitt Guanlei - thailändische Grenze
2004	UVP im Auftrag der thailändischen Regierung, durch welche die Sprengungen im Flussabschnitt Chiang Saen - Chiang Khong ausgesetzt werden
2006	Erstellen von Navigationskarten für den Lancang-Mekong durch JCCCN
2011	Fertigstellung der Talsperre Xiaowan in China
2014	Fertigstellung der Talsperre Nuozhadu in China

^{T1} Newell u. a. [1956] ^{T2} Le-Huu u. Nguyen-Duc [2003], MC [1970] ^{T3} MRC [2002] ^{T4} MC [1970]

^{T5} Lazarus u. a. [2006]

3 Grundlagenermittlung im Projektgebiet

3.1 Identifikation und Auswahl eines Projektgebietes

Der Mekong ist vom Hafen Simao in China an bis zu seiner Mündung in Vietnam auf nahezu seiner gesamten Länge von 2 800 Kilometern für Frachter während der Regenzeit befahrbar. Ausnahme ist ein 14 km langer Abschnitt bei den Khone Wasserfällen (MRC [2003b]), die nördlich der Grenze von Laos und Kambodscha gelegen sind. In der Übersichtskarte in Abbildung 1.1 ist die Lage der Wasserfälle gegeben.

Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die derzeitige Schiffbarkeit der einzelnen Abschnitte des Mekong, während der Niedrigwasserperiode (Dauer etwa 4 Monate), sowie der Mittel- und Hochwasserperiode (Dauer etwa 8 Monate). Die DWT Angaben für die Abschnitte flussabwärts von Chiang Saen sind MRC [2003b] entnommen, die Angaben stromaufwärts von Chiang Saen sind nach Ding [1993], JEWG [2000] und Sirichote u. Khiaotai [2014] zusammengestellt. Für den Bereich Guan Lei bis Chiang Saen berücksichtigt die Angabe für Niedrigwasser die höhere Abflussmenge in der Trockenzeit seit dem Beginn der Regulierung des Flusses nach Fertigstellung der Dämme in China. Nach der Durchführung der Sprengarbeiten in der Flussrinne, aber vor der Fertigstellung der Dämme Xiaowan und Nuoahadu, waren es 100 DWT, vor den Sprengungen der Felsen waren es 50 DWT.

Tabelle 3.1: Schiffbarkeit des Mekong zwischen einzelnen Häfen (aus Ding [1993], JEWG [2000], MRC [2003b] und Sirichote u. Khiaotai [2014], modifiziert)

Name der Häfen [-]	Land [-]	Niedrigwasser [DWT]	Mittel-/Hochwasser [DWT]
Simao - Guan Lei	China	300	500
Guan Lei - Chiang Saen	C/L/M/T	300	500
Chiang Saen - Luang Prabang	Laos/Thailand	30	80
Luang Prabang - Vientiane	Laos	15	60
Vientiane - Mukdahan/Savannakhet	Laos/Thailand	150	300
Mukdahan/Savannakhet - Pakse	Laos/Thailand	10	80
Pakse - Khinak	Laos	20	50
Khinak - Khone Falls	Laos	0	0
Khone Falls - Stung Treng	Laos/Kambodscha	15	70
Stung Treng - Kratie	Kambodscha	20	70
Kratie - Kampong Cham	Kambodscha	80	400
Kampong Cham - Phohm Penh	Kambodscha	2 000	k.A.
Phohm Penh - Mündung	Kambodscha/Vietnam	3 000	5 000

Gut zu erkennen ist in Tabelle 3.1, dass zwischen zwei gut schiffbaren Abschnitten (Guan Lei - Chiang Saen und Vientiane - Savannakhet) zwei Abschnitte mit sehr beschränkt möglicher Navigation liegen. Dies sind Chiang Saen - Luang Prabang und Luang Prabang - Vientiane.

In Abbildung 3.1 ist eine Übersicht über das Gebiet des Lancang - Mekong gegeben, mit den wichtigsten Städten und Straßenverbindungen. Bei den farblich markierten Dreiecken handelt es sich um das goldene Dreieck (Dreiländereck Laos / Myanmar / Thailand) und das grüne Dreieck (Dreiländereck China / Laos / Myanmar).

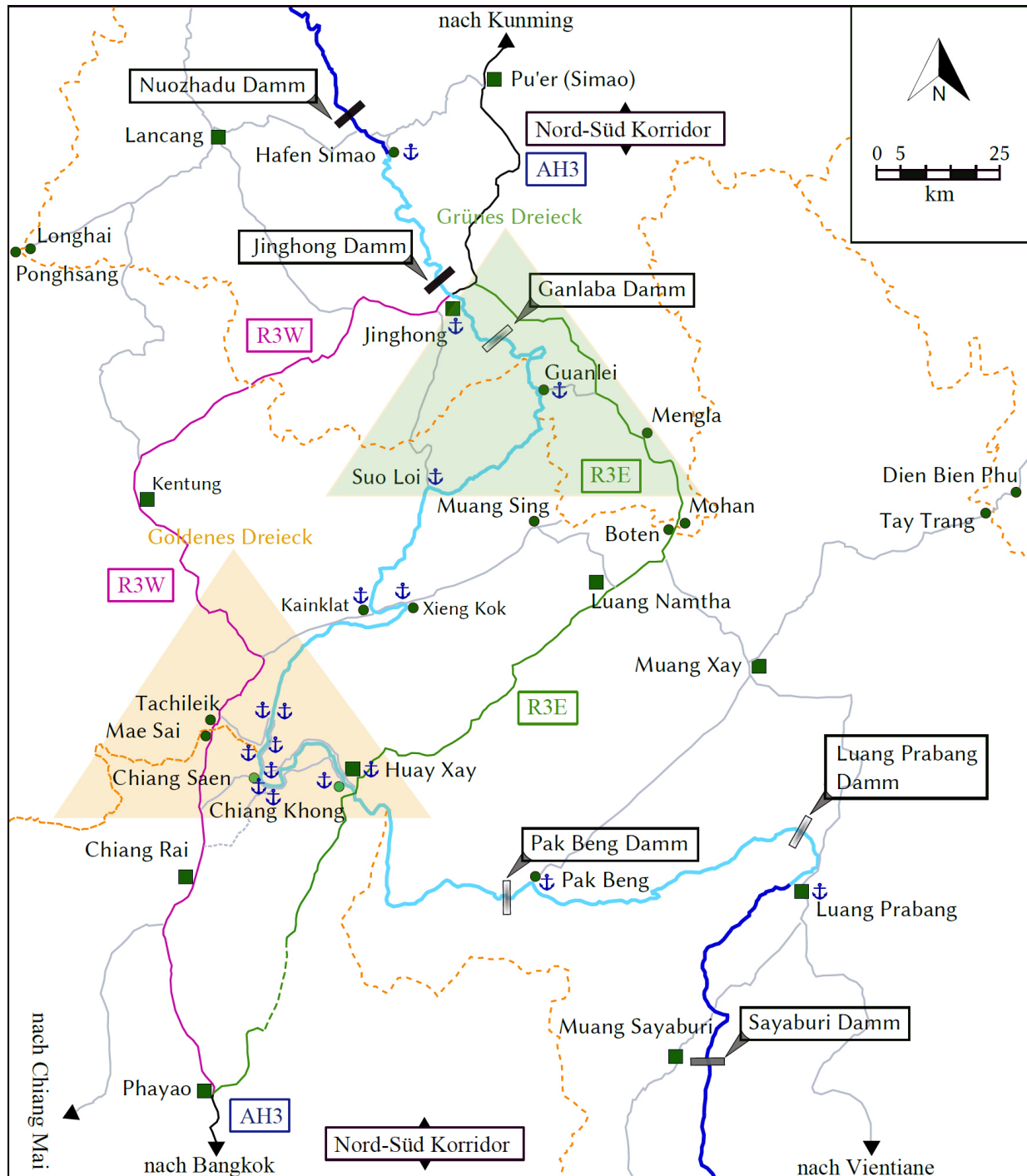


Abbildung 3.1: Gebiet des Lancang-Mekong

Insbesondere eine Untersuchung des Abschnittes Chiang Saen bis Luang Prabang wäre von besonderem Interesse, da auf diesem Wege Waren von China und Thailand auf dem Mekong bis zur alten laotischen Kö-

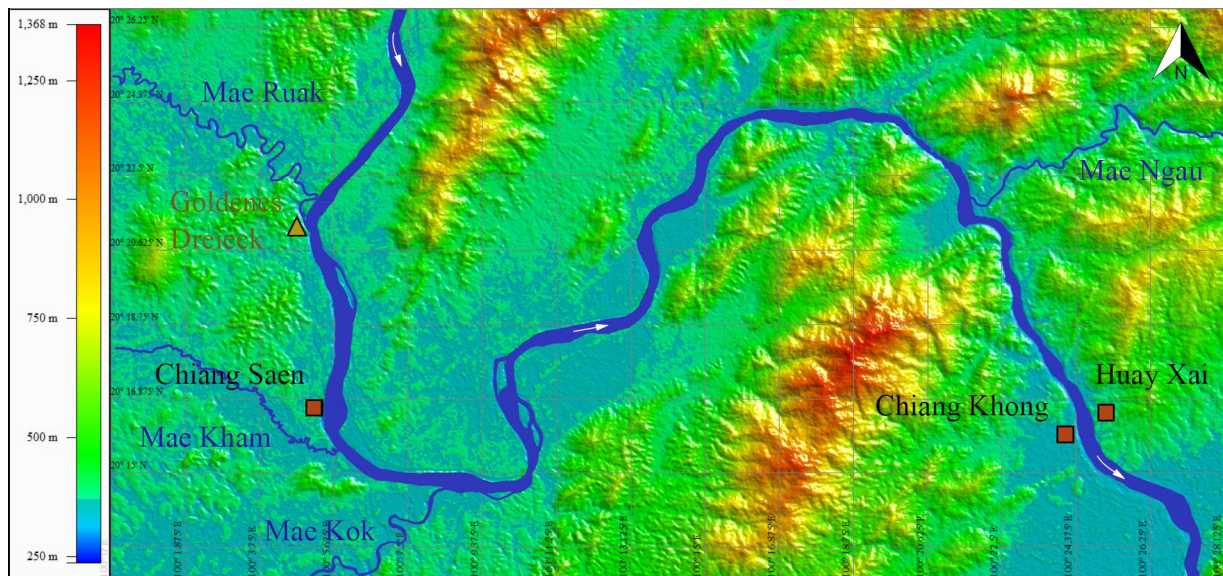


Abbildung 3.2: Projektgebiet (ASTER GDEM Höhendaten wurden zur Erstellung der Karte verwendet)

nigsstadt Luang Prabang transportiert werden können. Der Abschnitt Chiang Saen bis nach Luang Prabang lässt sich in zwei weitere Unterabschnitte unterteilen: 1) Den Abschnitt Chiang Saen - Chiang Khong/Huay Xai⁶⁵ (53 km), in diesem Abschnitt ist das rechte Flussufer in der thailändischen Provinz Chiang Rai und das linke Flussufer in der laotischen Provinz Bokeo, und 2) den Abschnitt Chiang Khong/Huay Xai - Pak Beng - Luang Prabang (130 km und 133 km, insgesamt 263 km), der bis auf einen 27 km langen Abschnitt komplett in Laos liegt. Bei Pak Beng und bei Luang Prabang ist jeweils der Bau eines Staudammes geplant (siehe Kapitel 2.5), durch welche der Wasserstand in diesen Abschnitten stark erhöht sein wird und bestehende Navigationshindernisse obsolet werden. Die Stauwurzel (340 m.ü.N.N.) des Pak Beng Dammes liegt fast bei Chiang Khong / Huay Xai. Dadurch kommt der Untersuchung des Flussabschnittes Chiang Saen - Chiang Khong eine entscheidende Bedeutung zu. Wenn dieser Abschnitt durch strombauliche Maßnahmen für Schiffe mit größerem Tiefgang schiffbar gemacht werden kann, die geplanten Dämme stromabwärts in Laos und Kambodscha gebaut werden (siehe Kapitel 2.5.3) und Maßnahmen zur Umschiffung der Khone Wasserfälle implementiert werden, dann steht der durchgängigen Schiffbarkeit des Mekong für große Frachter von China bis zur Mündung in Vietnam nichts mehr im Wege. Der Abschnitt von der Mündung des Mae Ruak bis nach Chiang Khong steht daher im Mittelpunkt dieser Dissertation. Der betrachtete Flussabschnitt ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

3.2 Verkehrswegenetz in der Lancang-Mekongregion

Schon in der Vergangenheit gab es rege Handelsbeziehungen zwischen den Städten Chiang Saen, Kentung, Jinghong, Luang Prabang und Sukhothai. Nach Grabowsky [2004] führten durch das Gebiet zahlreiche Handelswege, die von Burma im Westen bis zum Schwarzen Fluss⁶⁶ in Vietnam im Osten, sowie von Sukhotai im Süden und bis weit hinein nach Yunnan im Norden reichten. Neben der günstigen Lage von

⁶⁵Die beiden Städte Chiang Khong und Huay Xai liegen einander direkt gegenüber am Mekong. Chiang Khong liegt am rechten Ufer in Thailand und Huay Xai auf der linken Uferseite in Laos.

⁶⁶Der schwarze Fluss entspringt in Yunnan und ist ein Nebenfluss des Roten Flusses.

Chiang Saen direkt am Mekong, war hier auch ein Kreuzungspunkt von Karawanenrouten. Dies wird ebenso von Ehlers [1894] beschrieben, demnach die beste Karawanenroute von Yunnan nach Myanmar (Moulmei) und Bangkok über Chiang Saen führte. In Grabowsky [2004] wird von einer 250 km langen Binnenwasserstraße in der oberen zentralen Region bei Sukhothai gesprochen, dem Thanon Phra Ruang der im 13. Jahrhundert genutzt wurde. Die exponierte Lage von Chiang Saen am Mekong und an wichtigen Karawanenwegen impliziert geradezu die Nutzung von Schiffen auf dem Mekong zwischen Chiang Saen und den stromabwärts gelegenen Städten Luang Prabang und Vientiane bereits zu sehr früher Zeit.

Der Transportweg Fluss steht in Konkurrenz zu dem Warentransport auf Schiene und Straße. Mit Ausnahme Chinas ist das Eisenbahnnetz in den Mekongstaaten nur rudimentär vorhanden und wird nur begrenzt zum Gütertransport verwendet. Zwischen Laos und Thailand gibt es eine Bahnverbindung von Vientiane nach Bangkok. Ebenso gibt es eine Eisenbahnverbindung zwischen Kambodscha und Thailand, die von Phnom Penh nach Bangkok führt. In naher Zukunft ist allerdings von den Regierungen ein massiver Ausbau des Schienennetzes in Laos und Thailand vorgesehen (siehe Kapitel 2.4). Die Planungen für den Ausbau von Streckenverbindung zwischen China, Laos und Thailand sind im finalen Stadium und auch die Finanzierungen durch China sind gesichert (Mahitthirook [2015]). Damit wird der Transport von Waren mit der Bahn zwischen Südchina und Bangkok Realität werden.

In den letzten Jahren wurde das Straßennetz in Südostasien stetig verbessert, so dass die meisten größeren Städte miteinander durch ganzjährig befahrbare Straßen verbunden sind. Allerdings gilt es insbesondere in Laos zu berücksichtigen, dass das Land sehr gebirgig ist und Tunnel bisher absolute Ausnahmen darstellen. Deshalb ist der Straßentransport dort langsam und wetteranfällig.

Um einen Vergleich zu haben, wie sich die Transportentfernungen zwischen wichtigen Städten unter Einbeziehung und unter Vermeidung des Mekong als Wasserstraße unterscheiden, wurde Tabelle 3.2 erstellt.

Es ist zu erkennen, dass die Einbeziehung des Lancang-Mekong (in der Tabelle unter 'Mekong') als Transportweg keine Verkürzung der Strecken zwischen den großen Städten zur Folge hat. Anders sieht dies bei den mittelgroßen Städten entlang des Mekong aus, bei denen die Einbeziehung des Flusses zum Teil in ganz erheblich kürzeren Strecken resultiert.

- Die Entfernung zwischen Kunming und Bangkok ist auf dem Landweg (1 695 km) in etwa gleich, wie unter Einbeziehung des Mekong auf dem Abschnitt Jinghong - Chiang Saen (1 677 km).
- Für die Strecke Kunming - Vientiane ist der Transport nur über Land (1 195 km) deutlich kürzer, als über den Lancang-Mekong (1 623 km).
- Zwischen Jinghong und Chiang Rai ist der Transport unter Einbeziehung des Flusses kürzer (407 km) als nur über die Straße (490 km).
- Für den Warentransport zwischen Chiang Rai und Luang Prabang ist die Strecke unter Berücksichtigung des Mekong deutlich kürzer (373 km) als nur über die Straße (550 km).

Tabelle 3.2: Entfernungen zwischen den Städten (in km)

		Kunming	Simao Port	Jinghong	Guanlei	Houy Xay	Luang Prabang	Vientiane	Chiang Saen	Chiang Khong	Chiang Rai	Bangkok
Kunming	Straße	-	460	500	620	860	885	1 195	915	860	970	1 695
	Mekong	-	-	-	580	900	1 163	1 623	847	900	907	1 677
Simao Port	Straße	460	-	200	320	560	585	895	615	560	670	1 395
	Mekong	-	-	85	165	485	748	1 208	432	485	492	1 262
Jinghong	Straße	500	200	-	120	380	405	715	435	380	490	1 215
	Mekong	-	85	-	80	400	663	1 123	347	400	407	1 177
Guanlei	Straße	620	320	120	-	300	325	635	355	300	410	1 135
	Mekong	-	165	80	-	320	583	1 043	267	320	380	1 097
Houy Xay	Straße	860	560	380	300	-	440	750	55	0	110	880
	Mekong	900	485	400	320	-	263	890	60	0	-	-
L. Prabang	Straße	885	585	405	325	440	-	310	495	440	550	950
	Mekong	1 163	748	663	583	263	-	460	316	263	373	1 100
Vientiane	Straße	1 195	895	715	635	750	310	-	805	750	860	640
	Mekong	1 623	1 208	1 123	1 043	890	460	-	805	723	833	-
Chiang Saen	Straße	915	615	435	355	55	495	805	-	55	60	830
	Mekong	847	432	347	267	60	316	776	-	60	-	-
ChiangKhong	Straße	860	560	380	300	0	440	750	55	-	110	880
	Mekong	900	485	400	320	0	263	723	60	-	-	-
Chiang Rai	Straße	970	670	490	410	110	550	860	60	110	-	770
	Mekong	907	492	407	390	-	373	833	-	-	-	-
Bangkok	Straße	1 695	1 395	1 215	1 135	880	950	640	830	880	770	-
	Mekong	1 677	1 262	1 177	1 097	-	1 100	-	-	-	-	-

In der Beurteilung der günstigsten Transportroute für den Güterverkehr sind neben der reinen Entfernung eine Vielzahl von anderen Faktoren von Bedeutung, u.a. Zeitverluste durch Güterumschlag, Zeitverluste durch Formalitäten und Kontrollen bei den Grenzübergängen und Transportkosten. Da der Lancang-Mekong nach dem Abkommen von 1994 (siehe Kapitel 2.3.5) eine internationale Wasserstraße ist, können Güter z.B. zwischen China und Thailand auf dem Flussweg die Landesgrenzen ohne Zollkontrolle von laotischer oder burmesischer Seite passieren. Beim Transport auf dem Landweg sind jedoch zeitaufwendige Formalitäten erforderlich.

In einer französischen Studie, durchgeführt von dem französischen Ingenieurbüro BCEOM im Jahr 1994, wurde ein Kostenvergleich für den Gütertransport der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße in der Region erstellt (Starr [2004]). Der Vergleich wurde für die Trockenzeit erstellt und bezieht sich auf die Länder China, Laos, Myanmar, Thailand und Vietnam. In Tabelle 3.3 sind die Kosten in Relation zueinander gesetzt, mit den Kosten für die Straße als Faktor eins. Zum Vergleich sind in der Tabelle auch die Ergebnisse einer Studie von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes aus dem Jahre 2007 aufgeführt. In dieser Studie wurden die betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Transportkosten für Massengut und Container auf unterschiedlichen Strecken in Deutschland und auf dem Rhein bis Rotterdam untersucht (WSD-Ost [2007]). In der Tabelle sind allerdings nur die betriebswirtschaftlichen Transportkosten für Massengut berücksichtigt.

Tabelle 3.3: Vergleich von Transportkosten (nach MRC [2003b], Starr [2004] und WSD-Ost [2007])

Land [-]	Straße [%]	Wasserstraße [%]	Schiene [%]
China	100	124	197
Laos	100	91	k.a.
Myanmar	100	30	47
Thailand	100	29	85
Vietnam	100	k.a.	14
Deutschland	100	19	28

Bei Betrachtung der Werte fallen die Werte für China aus dem Rahmen, da die Transportkosten für den Güterverkehr auf der Straße am günstigsten sind. Für die anderen aufgeführten Länder ist der Transport von Waren auf der Straße die kostenintensivste Option. Es lässt sich aus den Tabellen 3.2 und 3.3 schlussfolgern, dass die Einbeziehung des Mekong in den Gütertransport zwischen den Anrainerstaaten eine auch finanziell lohnende Alternative darstellt.

3.3 Gewässerentwicklung

3.3.1 Veränderung des Flusslaufes in historischer Zeit

Der Lancang-Mekong fließt durch sehr bergiges Gebiet und das Flussbett und die Uferbereiche sind in vielen Abschnitten felsig, so dass der Verlauf des Flusses in einem gewissen Rahmen unveränderlich vorgegeben ist. Der Fluss verengt sich in manchen Bereichen bis auf hundert Meter und weniger. Die Situation für weite Teile des Flusses zwischen dem goldenen Dreieck und der Stadt Chiang Khong weicht von dieser Charakteristik ab. Auf diesem fast 70 km langen Abschnitt hat das Flussbett des Mekong auf zwei Dritteln der Strecke deutlich alluvialen Charakter mit einem bis zu einem Kilometer breiten Flussbett (siehe Abbildung 3.2). Dadurch sind Änderungen im Verlauf des Flussbettes möglich.

Die folgenden historischen Berichte sollen darstellen, wie stark der Mekong seinen Lauf veränderte. Für den Ausbau des Flusses bedeuten diese Veränderungen eine große Herausforderung an Uferbefestigung und Stabilisierung des Flusslaufes.

In alten Geschichtsschroniken ist die Rede von der mächtigen Stadt Suwana Khom Kham (um 1000 n.Chr., zur Datierung siehe auch Penth [2004]). Danach befand sich diese Stadt auf einer Insel im Mekong, gegenüber der Mündung des Mae Kok (Kok Fluss), der in den alten Chroniken als Ram Fluss bezeichnet wird. Gemäß den alten Schriften wurde durch anthropogene Eingriffe der ursprüngliche Flusslauf nach Osten verlagert, wodurch die Stadt Suwana Khom Kham zerstört worden sein soll (Ongsakul [2005]).⁶⁷ Zeitlich kann dieses Ereignis allerdings nicht exakt eingeordnet werden und ob diese Legende auf Tatsachen beruht

⁶⁷Die Veränderung des Flusslaufes soll die Kriegslist eines Königs aus einem Königreich nördlich von Chiang Saen gewesen sein, der die Stadt Chiang Saen durch konventionelle Kriegsführung nicht erobern konnte.

lässt sich nicht abschließend sagen. Nach dem Untergang Suwana Khom Khams, gelangte in unmittelbarer Nähe die Stadt Chiang Saen im 14. Jahrhundert zu Macht und Reichtum.⁶⁸

Darüber hinaus gibt es weitere lokale Berichte, die von einem anderen Verlaufs des Mekong bei Chiang Saen in der Vergangenheit sprechen. Dieses konnte durch Luftbilder bestätigt werden, auf denen Altarme des Mekong im Bereich der Stadt Chiang Saen eindeutig identifiziert werden können. Wood u. a. [2008] befasst sich ausführlich mit dieser Thematik und schlussfolgert, dass der Mekong vor vielen Jahren westlich der heutigen Stadt Chiang Saen floss und der jetzige Verlauf des Flusses seit etwa 600 Jahren besteht. Leider wurden auf laotischer Seite in den letzten Jahren durch chinesische Investoren großflächige Bananenplantagen angelegt. Die dafür notwendigen Erdarbeiten zerstörten viele Ruinen und veränderten die Topographie, so dass es auf aktuellen Luftbildern immer schwieriger wird, die Altarme zu erkennen.

In Damrihkul [2006] wird, basierend auf schriftlichen Unterlagen aus den Jahren 1882 - 1968, festgehalten, dass die Stadtmauer von Chiang Saen insgesamt 11 Stadttore besitzt. Bei den heute noch erhaltenen Abschnitten der Stadtmauer sind jedoch nur fünf Stadttore vorhanden und die gesamte am Mekong gelegene Seite der Stadt hat keine Stadtmauer. Dass hier der Fluss als einzige Verteidigungsbarriere benutzt wurde, erscheint sehr unwahrscheinlich, da die meisten alten Städte in Nordthailand an Flüssen gebaut sind und die dem Fluss zugewandte Seite der Stadt immer durch eine Stadtmauer geschützt wurde (z.B. Chiang Rai, Lamphun, Nan, Si Satchanalai). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die dem Fluss zugewandte Stadtmauer in den Fluten des Mekong verschwunden ist.⁶⁹ In Luftbildaufnahmen von 1954 ist die östliche Stadtmauer bereits nicht mehr vorhanden, d.h. sie wurde nicht durch das große Hochwasser im Jahr 1966 zerstört. In dem Bericht von Damrihkul [2006] sind die minimalen und maximalen Wasserstände für Luang Prabang in den Jahren 1925 - 1955 (Daten unvollständig) angegeben. Der deutlich höchste Wasserstand wurde im Jahr 1926 mit fast 19 m gemessen, sonstige Maxima lagen bei 16 m. Eventuell war dies das Jahr in dem die östliche Stadtmauer von Chiang Saen in den Fluten des Mekong verschwand.

Im Jahr 1958 verschwand die Insel Don Thaen im Mekong bei Chiang Saen, nachdem diese von Antiquitäten- und Goldsuchern komplett umgegraben worden war (Chuejeddon [2014]). Am 3. September 1966 gab es ein großes Hochwasser in diesem Abschnitt des Mekong, durch welches die Innenstadt von Chiang Saen einen Meter hoch überschwemmt wurde (Wood u. a. [2008] und Chuejeddon [2014]). Den vorliegenden Abflussdaten von 1966 nach zu urteilen, dauerte die Überschwemmung der Innenstadt drei Tage an und der maximale Abfluss betrug 23 500 m³/s. Infolge eines weiteren Hochwassers im Jahr 2006 ergab sich eine signifikante Veränderung des Verlaufs des laotischen Ufers im Bereich der Stadt Chiang Saen. Weite

⁶⁸Der alte Name von Chiang Saen ist in den Chroniken unter anderem auch Chang Saen und Muang Ngoen Yang. Es ist jedoch nicht ganz erwiesen, dass Muang Ngoen Yang an der exakt selben Stelle wie Chiang Saen lag (Penth [2004]). Muang Ngoen Yang war die Heimatstadt des Prinzen Mengrai der anschließend die Städte Chiang Rai (Chiang Rai = Stadt des PhayamengRai) und Chiang Mai (Chiang Mai = neue Stadt) gründete. Phayamengrai (d.h. Mengrai der Große) war erster König der Mengrai Dynastie. Die Mengrai Dynastie herrschte 300 Jahre (1261 - 1578 n.Chr) über das Lannakönigreich, siehe Grabowsky [2004].

⁶⁹In den Chroniken von Chiang Mai (siehe Penth [1996] sowie Wyatt u. Wichienkeo [1998]) wird über die Gründung der Stadt Chiang Saen im Jahr 1329 berichtet. Hier wird erwähnt, dass bei dem Bau der Stadt insgesamt fünf Stadttore errichtet wurden und am Mekongufer keine Stadtmauer gebaut wurde. Da Damrihkul [2006] basierend auf schriftlichen Unterlagen aus den Jahren 1882 - 1968 (d.h. über fünfhundert Jahre danach) berichtet, dass die Stadtmauer von Chiang Saen insgesamt 11 Stadttore hatte, bedeutet dies, dass sechs weitere Stadttore nachträglich hinzugefügt wurden. Interessant ist ein Vergleich mit der alten Stadt Lamphun. Diese war erheblich kleiner als Chiang Saen (circa ein Viertel der Stadtfläche) und hatte sechs Stadttore, davon drei im östlichen Abschnitt der Stadtmauer, die dem Fluss zugewandt ist. Es ist daher vorstellbar, dass der dem Fluss zugewandte Teil der Stadtmauer von Chiang Saen sechs Stadttore gehabt hatte.



Abbildung 3.3: Der Mekong bei Chiang Saen

Teile des östlichen Ufers wurden überschwemmt und die dadurch bedingte Ufererosion führte zu großem Landverlust. Ein laotisches Dorf wurde zerstört und die Bewohner mussten umgesiedelt werden. In Abbildung 3.3 ist dieser Bereich des Mekong zu sehen (siehe auch Anhang A für weitere Informationen zur Entwicklung des Flussverlaufes bei Chiang Saen).

3.3.2 Flusslaufveränderungen in den vergangenen sechzig Jahren

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Luftbildaufnahmen des Mekong aus den Jahren 1954, 2002 und 2014 für das Projektgebiet ausgewertet, um Veränderungen des Flusslaufes zu erkennen und zu quantifizieren. Die Luftbilder aus dem Jahr 1954 sind die ältesten verfügbaren. Bereits in diesem Zeitraum lassen sich bei natürlichen Gewässern auffällige Änderung des Flussverlaufes beobachten. So sieht man beim Mae Kham (Kham Fluss), ein Nebenfluss des Mekong etwas stromabwärts von Chiang Saen, eine starke Verlagerung des Flusslaufes. In den beiden Luftbildern (Abbildungen 3.4 und 3.5), ist der deutlich andere Verlauf des Flusses gut zu sehen.



Abbildung 3.4: Mae Kham im Jahr 1954

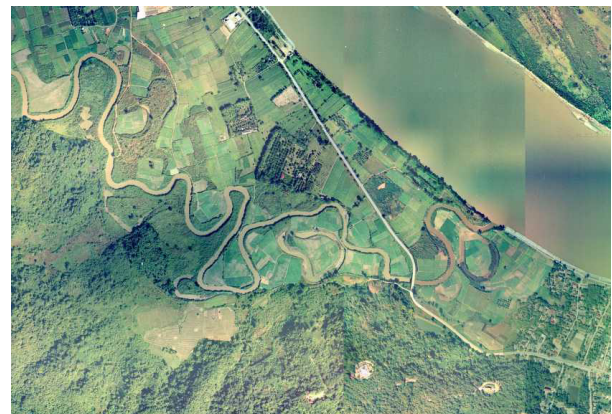


Abbildung 3.5: Mae Kham im Jahr 2002

Für den Abschnitt des Mekong zwischen dem Goldenen Dreieck und Chiang Khong kann eine Veränderung des Uferverlaufes zwischen den Jahren 1954 und 2014 an mehreren Stellen beobachtet werden. Die Veränderungen sind hauptsächlich in der ersten Hälfte dieses Flussabschnittes, bedingt dadurch, dass in

diesem Abschnitt der Fluss deutlich alluvialen Charakter hat, während im zweiten Abschnitt das Flussbett und die Uferbereiche meist felsig sind. In der Abbildung 3.6 sind die Erosionen und Anlandungen graphisch dargestellt. Dabei ist der aktuelle Uferverlauf als blaue Linie, Uferbereiche die erodiert wurden in rot und Bereiche der Uferanlandung in grün dargestellt. In Tabelle 3.4 sind die Werte quantifiziert.

Tabelle 3.4: Erosions- und Anlandungsflächen zwischen Sop Ruak und Chiang Khong zwischen 1954 und 2014

	Erosion [ha]	Anlandung [ha]
Rechtes Ufer (Thailand)	145	78
Linkes Ufer (Laos)	235	190
Gesamt	379	268

Insgesamt gingen in dem Zeitraum von sechzig Jahren 379 ha durch Erosion verloren und nur 268 ha wurden durch Anlandung hinzu gewonnen. Dabei fällt auf, dass beim linken, dem laotischen Ufer, eine deutlich höhere Erosion und auch Anlandung zu verzeichnen ist. Dies kann seine Ursache darin haben, dass mehrere Abschnitte des thailändischen Ufers seit längerer Zeit durch Uferbefestigungen besser geschützt sind. Für das laotische Ufer wurden erst in den letzten Jahren, mit chinesischer Hilfe, Maßnahmen gegen die Ufererosion implementiert (Uferbefestigung und Buhnen). Der große Anlandungsbereich auf laotischer Seite zwischen Ban Sop Ruak und Chiang Saen wurde durch die Stilllegung eines großen Seitenarms des Mekong künstlich geschaffen.

3.4 Vorhandene Flusskarten

3.4.1 Hydrographischer Atlas MRC 1996

Im Jahr 1987 begann die Mekong Kommission mit der Überarbeitung einer hydrographischen Karte, die den Bereich des Mekong von der Myanmar-Thai-Laotischen Grenze (Goldenes Dreieck) bis zur Mündung in Vietnam komplett abdeckt. Nach MRC [1995a] wurden die Arbeiten im Jahre 1995 nahezu abgeschlossen und in 1996 wurde der Hydrologische Atlas von der Mekong Kommission (MRC) für diesen Bereich des Mekong veröffentlicht. Als Datengrundlage dienten Vermessungen, die von der laotischen Regierung⁷⁰ zwischen den Jahren 1989 - 1992 durchgeführt wurden. Dabei kamen Sonargeräte von Simrad und Raytheon zum Einsatz. Die Wassertiefen auf den Karten sind in Dezimetern (siehe Abbildung 3.7) angegeben und beziehen sich auf den niedrigsten Wasserstand eines Längsprofils, welches in den Jahren 1959-60 von den Firma Harza Engineering (Harza Engineering Company in den USA, seit 2001 Montgomery Watson Harza) erstellt wurde. Die Topographischen Geländehöhen basieren auf Luftbildern aus den Jahren 1991 und 1992 (MRC [1996]).

⁷⁰Department of Communication Lao PDR

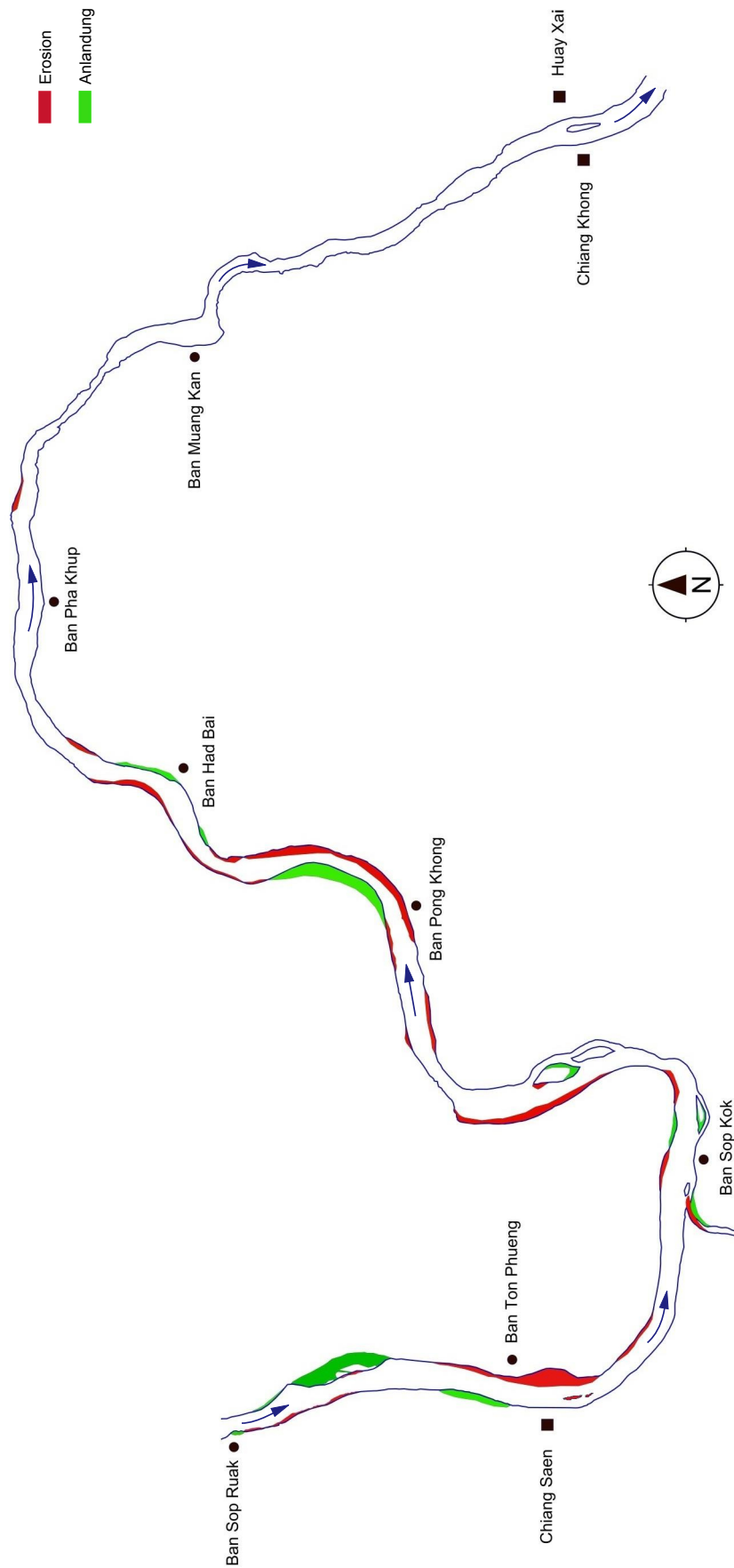


Abbildung 3.6: Änderung der Uferlinie zwischen den Jahren 1954 und 2014

3.4.2 Navigationskarten des JCCCN 2006

Vom Komitee zur Koordination der gewerblichen Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong⁷¹ wurden Navigationskarten⁷² von der Mündung des Flusses Nam Ngo in den Mekong⁷³ bis zum Hafen in Chiang Khong erstellt und im Jahr 2006 veröffentlicht. Die Karten basieren ganz offensichtlich auf dem Goldenen Dreieck stromabwärts auf dem Hydrographischen Atlas von 1994 (siehe Kapitel 3.4.1). Dies ist zwar nicht auf den Navigationskarten vermerkt, bei einem Vergleich der beiden Kartenwerke, siehe hierzu Abbildung 3.7, ist eine Übereinstimmung jedoch deutlich zu erkennen.

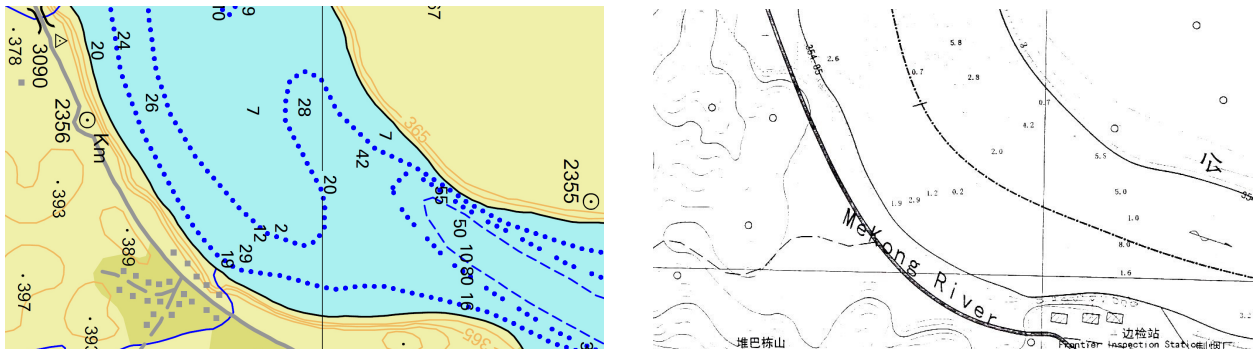


Abbildung 3.7: MRC Hydrographischer Atlas (links) und Navigationskarte des JCCCN (rechts)

An dieser Stelle ist auch erwähnenswert, dass gemeinsam von China, Myanmar, Laos und Thailand Vermessungen in 1993 (Ding [1993]) und 2006 (Yang u. a. [2006]) durchgeführt wurden. Dabei wurden Tiefenmessungen für den Flussabschnitt zwischen Guanlei und dem Punkt vorgenommen, ab dem der Mekong den Grenzverlauf verlässt und nur noch in Laos fließt (etwas stromabwärts von der Stadt Chiang Khong). Als Resultat der Messungen von 1993 wurde nur die tiefste Linie des Flussbettes in den Reports dargestellt. In 2006 wurden die Tiefen zwar über die gesamte Flussbreite gemessen, allerdings sind die dargestellten Vermessungen sehr lückenhaft.

3.5 Hydrologische und sedimentologische Situation

3.5.1 Wasserstände und Abflüsse

3.5.1.1 Pegelstation Jinghong

Seit Juni 2009 werden Informationen zur Pegelstation Jinghong auf der Webseite des MRC⁷⁴ für die Regenzeit (seit 2014 vom 1. Juni - 31. Oktober, davor vom 15. Juni - 15. Oktober) veröffentlicht. Diese Daten bestehen aus Pegelstand, Abfluss und Niederschlag. Für die übrigen Monate werden keine Daten von der chinesischen Seite an MRC übermittelt. In der Abbildung 3.8 sind die Abflussdaten für die Jahre 2000 und 2010 - 2014 dargestellt. Im Zeitraum 2010 bis 2014 ist die Regelung des Abflusses durch die stromaufwärts

⁷¹Joint Committee on Coordination of Commercial Navigation on the Lancang-Mekong River (JCCCN)

⁷²Navigation Charts

⁷³Ab diesem Punkt ist der Mekong Grenzfluss zwischen China und Myanmar.

⁷⁴www.mrcmekong.org

gelegenen Dämme im Vergleich zum Jahr 2000 gut erkennbar. Im Jahr 2000 gab es stromaufwärts von Jinghong nur die 1996 fertiggestellte Manwan Talsperre, wohingegen bis 2010 zwei weitere Dämme implementiert wurden und in 2011 die Xiaowan Talsperre fertiggestellt wurde (vergleiche Tabelle 2.2). Eine Abnahme des minimalen Abflusses lässt sich ab 2012 beobachten, was als Hinweis auf die Befüllung des Reservoirs der Xiaowan Talsperre angesehen werden kann.

Während der minimale Abfluss NQ während der Regenzeiten im Jahr 2000 noch $2\,091\text{ m}^3/\text{s}$ betrug, war er in den Jahren 2010-2014 nur $274\text{ m}^3/\text{s}$ (2012). Für den maximalen Abfluss HQ verhält es sich ähnlich: in 2010 waren es $6\,448\text{ m}^3/\text{s}$ und im Zeitraum 2010-2014 war das Maximum während der Regenzeit nur noch $2\,611\text{ m}^3/\text{s}$ (2014).⁷⁵

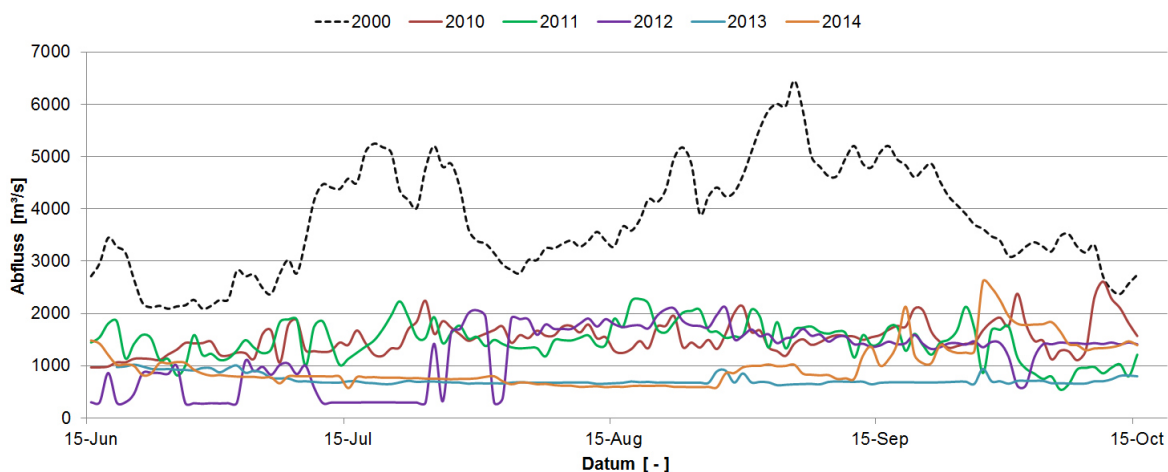


Abbildung 3.8: Abflüsse Pegel Jinghong während der Monsunzeit [Daten aus www.mrcmekong.com]

3.5.1.2 Pegelstation Chiang Saen

Zwischen dem Goldenen Dreieck und Chiang Khong sind vier permanente gewässerkundliche Pegel der thailändischen Wasserbehörde⁷⁶ installiert. Dieses sind der Lattenpegel bei Sop Ruak (1967), der Schrägpegel bei Chiang Saen (1957/1961), der Lattenpegel bei Sop Kok (1970) und der Schrägpegel in Chiang Khong (1968). In Klammern ist das Jahr angegeben, ab dem der Pegel betrieben wurde und Pegeldata vorliegen. Für den Pegel Chiang Saen liegen seit 1957 Wasserspiegelmessungen vor, ab 1961 auch Abflussdaten. Bei allen vier Pegelstationen werden drei Mal täglich die Wasserstände abgelesen (6^{00} Uhr, 12^{00} Uhr und 18^{00} Uhr). Die Pegel Sop Ruak und Chiang Saen liegen 8,6 km auseinander, die Pegel Chiang Saen und Sop Kok 7,8 km und die Pegel Sop Kok und Chiang Khong 51,2 km.

In Chiang Saen ist seit 2003 (Thailoh [2014]) neben dem Schrägpegel ein automatisch aufzeichnender Schreibpegel installiert, der die Daten in Echtzeit an die Pegeldatazentrale der Mekong Kommission (MRC) und der thailändischen Wasserbehörde überträgt. Zwei Kilometer stromabwärts vom Pegel Chiang

⁷⁵Es liegen zwei unterschiedliche Formeln zur Beschreibung der Wasserstands-Abflussbeziehungen vor. Zum einen die in JEWG [2001] erwähnte Formel $Q = 10,783 \cdot h^2 + 603,51 \cdot h - 587,19$ mit $h = H - H_0$ und $H_0 = 532,94\text{ mNN}$. Zum anderen die aus den Pegeldata und Abflusswerten für die Jahre 2010-2014 ermittelte Formel $Q = 565,95 \cdot H - 302334$. Beide unterscheiden sich erheblich, wobei erstere größere Abflusswerte liefert. Für Abbildung 3.8 wurde die Formel $Q = 565,95 \cdot H - 302334$ zur Berechnung der Abflüsse verwendet

⁷⁶Department of Water Resources Management (DWRM) of the Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE)

Saen wird zwei mal pro Monat die Fließgeschwindigkeit des Flusses mit Hilfe von Messflügeln gemessen und durch Aufnahme des Abflussquerschnittes auch der Durchfluss ermittelt. Zusätzlich wird an dieser Stelle seit 1962 auch zwei Mal im Monat die Suspensionsfracht (SSC)⁷⁷ gemessen. In Abbildung 3.9 sind die Standorte der Pegel und der Ort der Geschwindigkeits- beziehungsweise der Sedimentkonzentrationsmessungen dargestellt. Hierbei sind die Pegelstandorte mit einem grünen Punkt und der Ort der SSC Messungen mit einem magentafarbenen Dreieck gekennzeichnet.

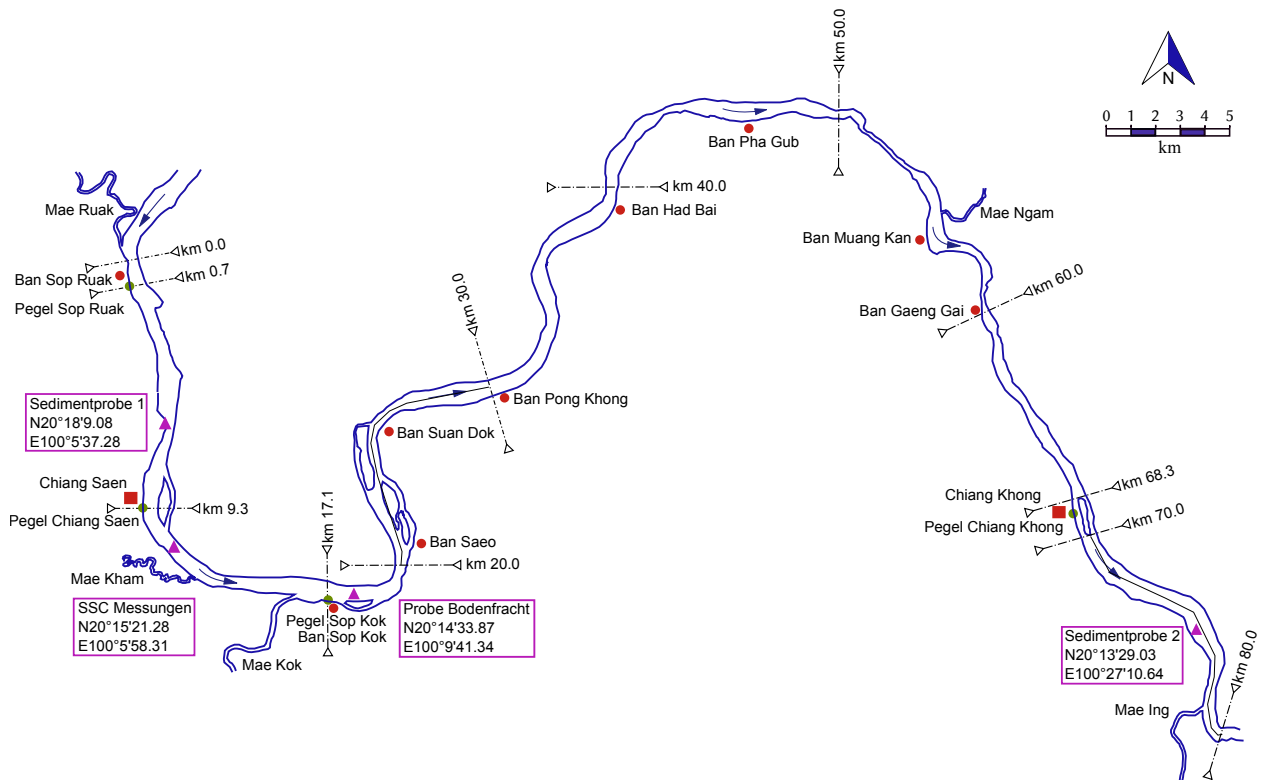


Abbildung 3.9: Entnahmestellen von Sedimenten und Bodenfracht

Von der thailändischen Wasserbehörde wurden für diese Dissertation die Daten (Abfluss und Wasserspiegel auf Tagesbasis) für die oben genannten Pegel für den Zeitraum 1962 bis 2012 zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der Daten ergab, dass das durchschnittliche jährliche Abflussvolumen bei Chiang Saen 85 883 Mio. Kubikmeter beträgt. Die beiden Jahre mit den höchsten Jahresabfluss waren die Jahre 1966 mit 126 688 Mio. m³ und 2008 mit 166 924 Mio. m³. Die Jahre mit den niedrigsten Jahresabfluss waren 1992 mit 65 683 Mio. und 2012 mit 64 549 Kubikmetern. Der Unterschied von 40 000 Mio. Kubikmetern zwischen den beiden Jahren mit den höchsten Abflussmengen ist signifikant, wohingegen er bei den Abflüssen der beiden Jahre mit den geringsten Abflusswerten nur 1 134 Mio. Kubikmetern betrug.

Um die Plausibilität des hohen Abflusses im Jahr 2008 zu überprüfen, wurden die Daten des Jahres 2008 mit denen der Jahre 2001 bis 2007, sowie 1966 verglichen. Der Abfluss eines Flusses kann aus dem Geschwindigkeitsprofil und dem zugehörigen Abflussquerschnitt berechnet werden. Aus der Beziehung Abflussquerschnitt und Wasserspiegelhöhe (Wasserstand) lässt sich eine Abflusskurve (Schlüsselkurve) ermitteln. In Abbildung 3.10 sind die Abflusskurven für die Jahre 2001 bis 2008 dargestellt.

⁷⁷Die Suspensionsfrachtkonzentration wird im Englischen als Suspended Sediment Concentration bezeichnet und mit SSC abgekürzt. Diese Abkürzung wird auch in dieser Dissertation verwendet.

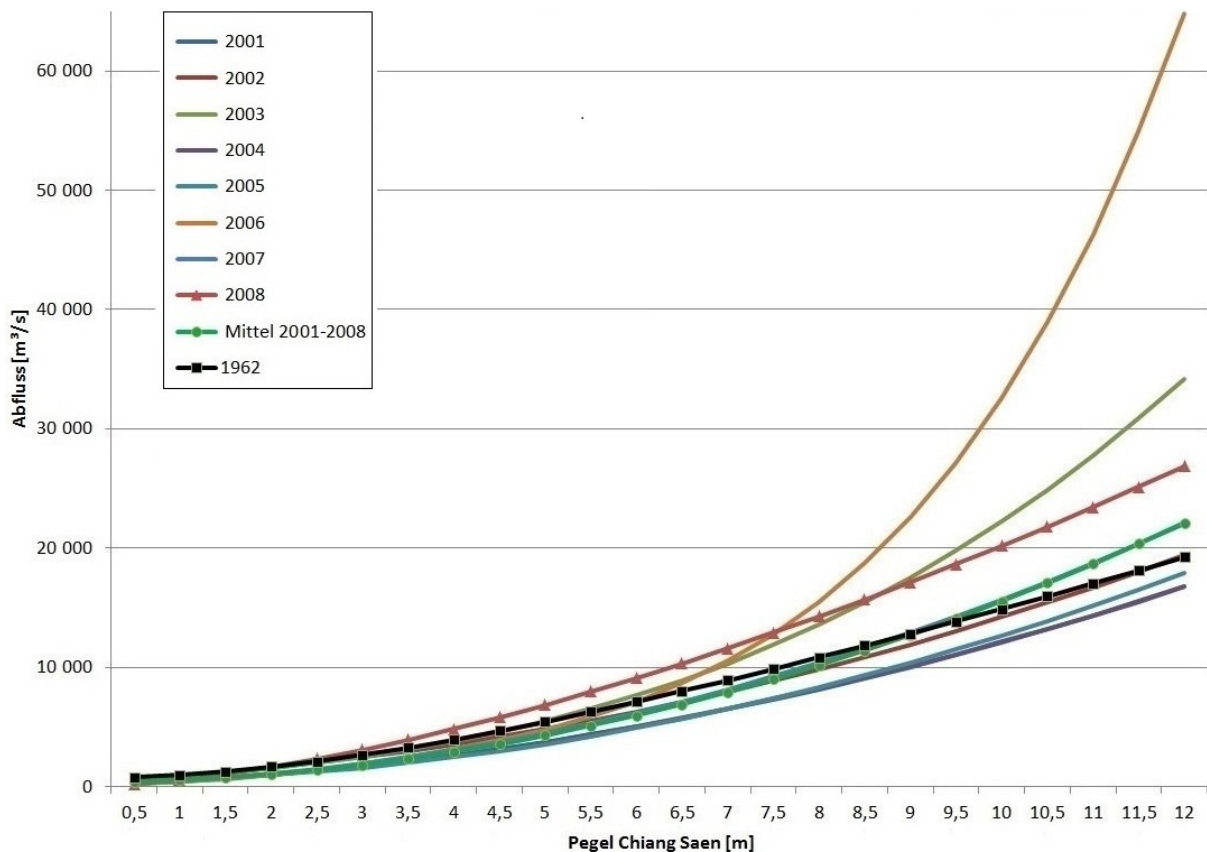


Abbildung 3.10: Abfluss in Abhängigkeit zum Pegelstand bei Chiang Saen basierend auf Jahrbuchdaten

Es zeigt sich für die Abflusskurven der Jahre 2003, 2006 und 2008 ein auffällig anderer Verlauf. Für das Jahr 2008 ist der auffallend andere Verlauf bereits bei einem Abfluss von weniger als 5 000 m³/s zu beobachten, für die beiden Jahre 2003 und 2006 erst ab etwa 8 000 m³/s. In 2003 betrug der maximale Abfluss weniger als 8 000 m³/s (6 728 m³/s am 8.9.2003), daher ist der auffällige Verlauf der Abflusskurve hier nicht von Relevanz. Anders stellt sich dies bei den Jahren 2006 und 2008 dar, da hier gemäß den Jahrbüchern maximale Abflusswerte von 29 600 m³/s, beziehungsweise 22 200 m³/s erreicht wurden. Nachfragen bei der zuständigen Behörde in Chiang Saen ergaben, dass in diesen beiden Jahren neue Geräte zur Messung der Fließgeschwindigkeiten eingesetzt wurden und es hierbei zu Inkonsistenzen bei den Messungen kam.

Um für die weiteren Untersuchungen eine verlässliche Datenbasis zu haben, wurde für die Berechnung der Abflüsse in den Jahre 2006 und 2008 eine gemittelte Abflusskurve verwendet (Abbildung 3.11). Nach entsprechender Korrektur der Daten für 2006 und 2008 betragen die maximalen Abflüsse für 2006 und 2008 nur noch 14 629 m³/s, beziehungsweise 17 452 m³/s. Die korrigierten Abflussganglinien für 2006 und 2008 sind in Anhang B in der Abbildung B.1 dargestellt und die modifizierten Werte sind in den Tabellen B.3 und B.5 tabellarisch aufgeführt.

In Abbildung 3.12 sind die Jahresabflüsse für die insgesamt 51 Jahre dargestellt. In Abbildung 3.13 sind die Niedrigwasserabflüsse und in Abbildung 3.14 die Hochwasserabflüsse, mit den korrigierten Werten, für diesen Zeitraum aufgetragen.

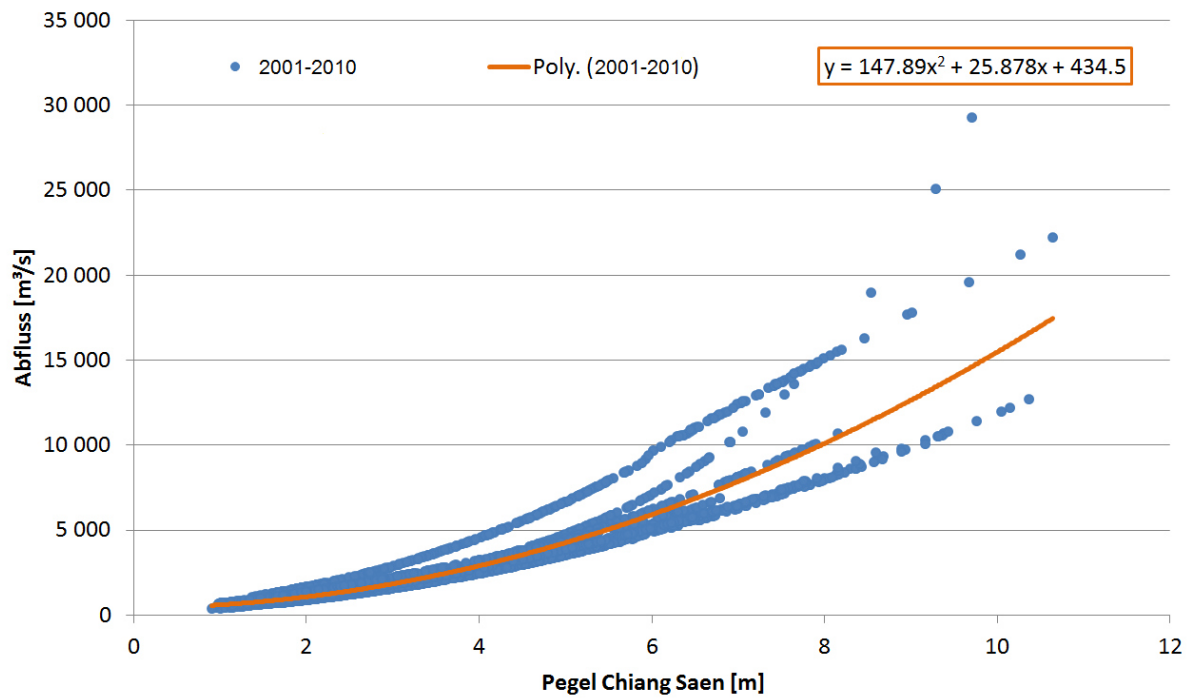


Abbildung 3.11: Gemittelte Abflusskurve für die Jahre 2001 bis 2010

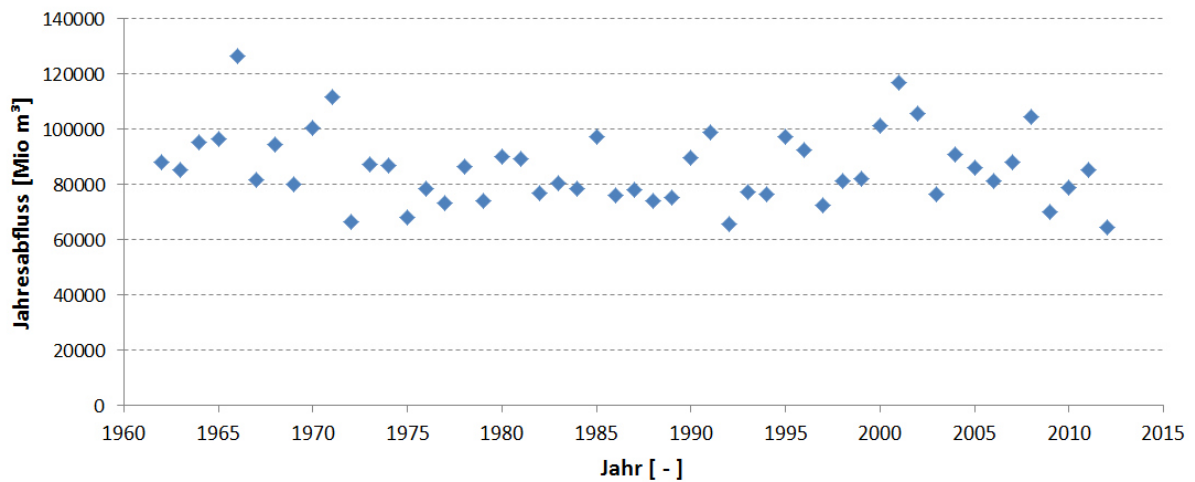


Abbildung 3.12: Jahresabflüsse des Mekong bei Chiang Saen

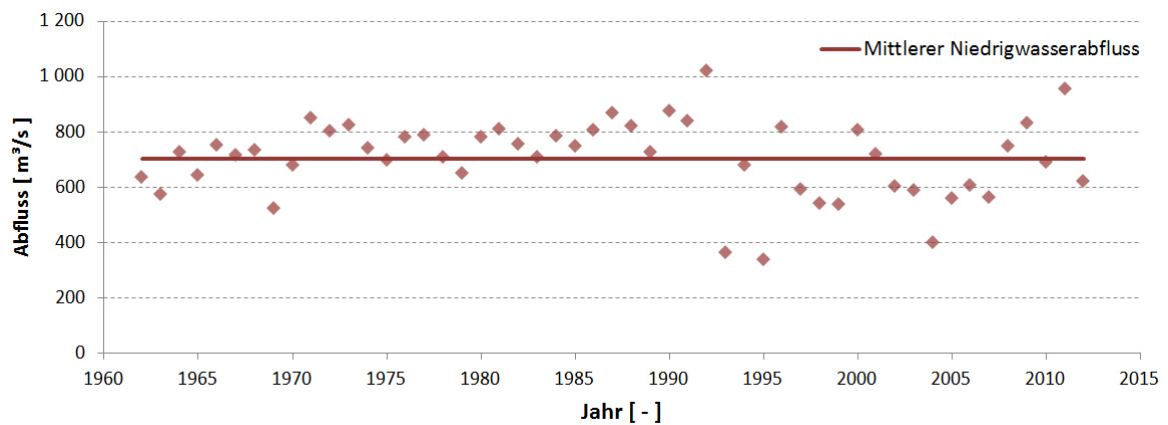


Abbildung 3.13: Niedrigwasserabflüsse des Mekong bei Chiang Saen

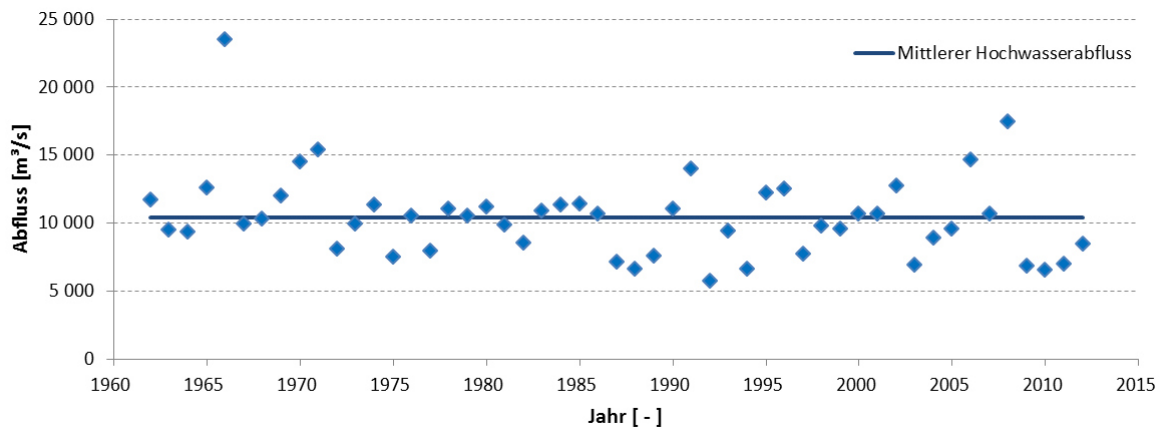


Abbildung 3.14: Hochwasserabflüsse des Mekong bei Chiang Saen

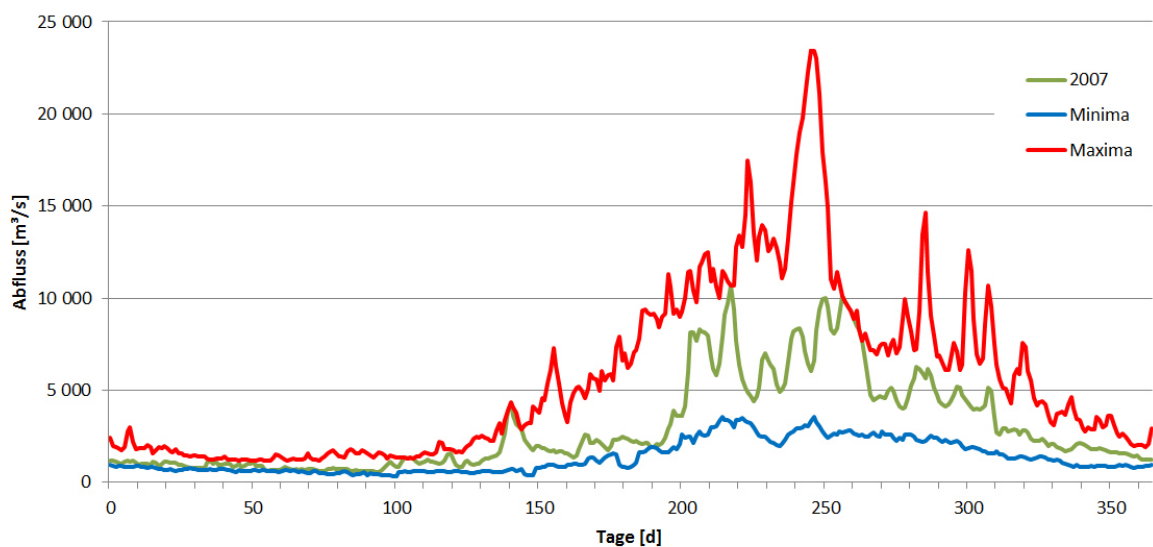


Abbildung 3.15: Abflussminima und -maxima für den Zeitraum 1966-2012, Abflussganglinie Jahr 2007

Die maximalen und minimalen Abflusswerte für die Jahre 1962 bis 2012 wurden untersucht und in Abbildung 3.15 dargestellt. Exemplarisch wurde zusätzlich die Abflusslinie für das Jahr 2007 aufgetragen.

In Abbildung 3.16 ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit für Abflussereignisse über dem angegebenen Prozentsatz angegeben für den Zeitraum 1962 - 2012. Daraus ist zum Beispiel ersichtlich, dass während der 51 Jahre 90% der Abflussereignisse 5 910 m³/s nicht überschreiten; für 95% sind es 7 020 m³/s. In Abbildung 3.17 ist hingegen die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für Abflussereignisse unter dem angegeben Prozentsatz angegeben. Dies bedeutet das in 90% der Fälle ein Mindestabflusswert von 986 m³/s (für 95% sind es 858 m³/s) vorhanden ist. In Tabelle 3.5 sind weitere Werte aufgeführt.

Tabelle 3.5: Abflussperzentile für den Zeitraum 1952 - 2012

	25%	50%	75%	80%	90%	95%	96%	97%	98%	99%	100%
Mindestabfluss [m³/s]	4 000	2 160	1 340	1 220	986	858	823	788	733	673	338
Maximalabfluss [m³/s]	1 340	2 160	4 000	4 500	5 910	7 020	7 460	8 011	8 836	10 100	23 500

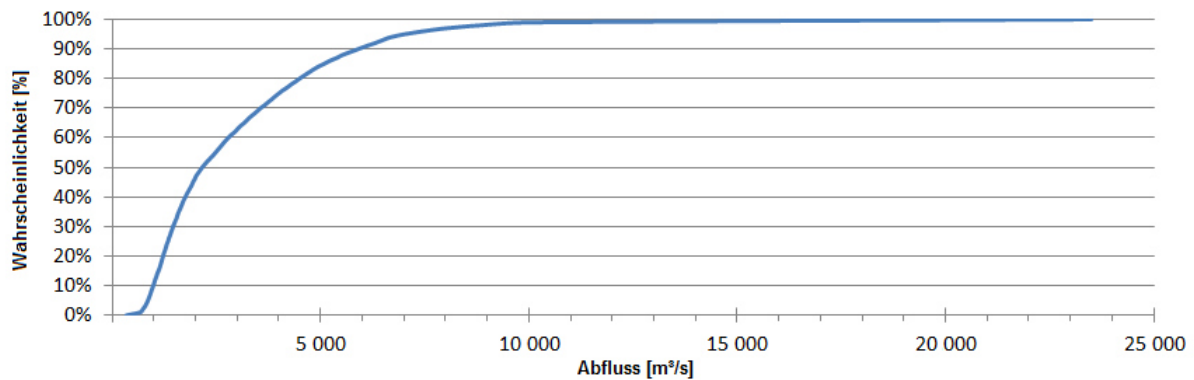


Abbildung 3.16: Unterschreitungswahrscheinlichkeit

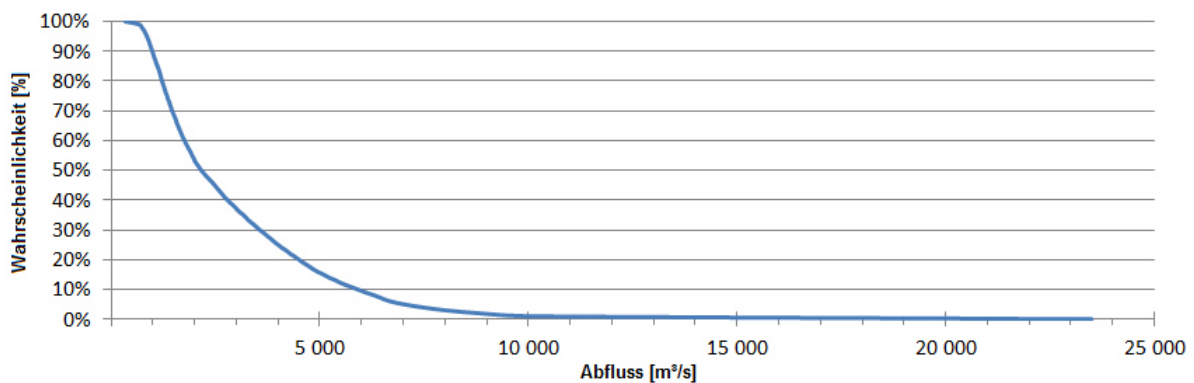


Abbildung 3.17: Überschreitungswahrscheinlichkeit

3.5.1.3 Diskussion der vorliegenden 3 mal täglich abgelesenen Pegeldaten

Zusätzlich zu den oben diskutierten Abfluss- und Wasserstandsdaten wurden von der thailändischen Wasserbehörde 3x täglich abgelesene Pegeldaten (6⁰⁰ Uhr, 12⁰⁰ Uhr und 18⁰⁰ Uhr) für die Stationen Sop Ruak, Chiang Saen, Sop Kok und Chiang Khong für die Jahre 2003 - 2008 zur Verfügung gestellt. Zum besseren Verständnis der Korrelation der Pegel wurden für das Jahr 2007 exemplarisch die Wasserstände der vier Pegel in einem Diagramm aufgetragen (siehe Abbildung 3.18). Hierbei ist deutlich zu sehen, dass die Pegel stark korrelieren. Der Pegel Chiang Khong weicht jedoch an mehreren Stellen geringfügig ab. Diese Abweichungen sind aufgrund der größeren Entfernung zu den anderen Pegeln plausibel.

3.5.2 Veränderung des Abflussverhaltens durch die Lancang Dammkaskade

Wie in Kapitel 2.5 dargestellt wurde, sind mehrere Dämme im Mekong bereits gebaut worden und weitere geplant. Insbesondere die beiden Talsperren Xiaowan und Nuozhadu werden, bedingt durch ihr großes Stauvolumen (siehe Tabelle 2.2), das Abflussverhalten des Mekong verändern. Die beiden erwähnten Talsperren sind erst kürzlich fertig gestellt worden und die komplette Füllung wird mehrere Jahre dauern. Sie werden von privaten Firmen betrieben und es sind so gut wie keine Informationen zum Betrieb der Talsperren erhältlich. Da die Hauptaufgabe dieser Dämme die Stromerzeugung ist, kann davon ausgegangen werden, dass hier im Tagesmittel gleichmäßige Abflussmengen anvisiert sind. In diesem Kapitel wird der Einfluss der Dämme auf das Abflussverhalten abgeschätzt.

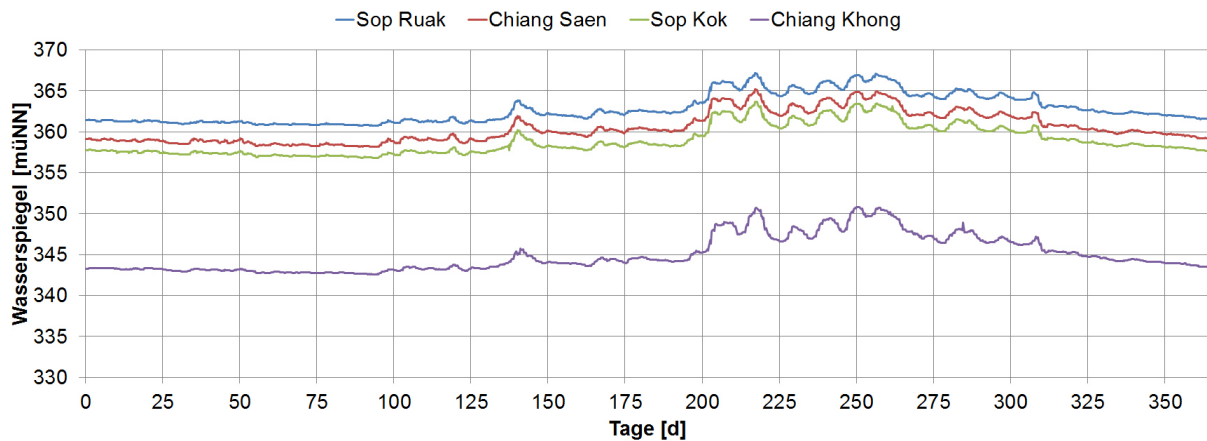


Abbildung 3.18: Wasserstände für das Jahr 2007 an vier Pegelstationen

3.5.2.1 Die Berechnung der Einzugsgebiete

Um die Größe der Einzugsgebiete zu ermitteln wurde das Programm GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), ein frei verfügbares GIS⁷⁸ benutzt. Dazu wurden topographische Daten von ASTER⁷⁹ GDEM⁸⁰ verwendet. Die Ortsauflösung ist 30×30 m und die vertikale Auflösung etwa 5 m. Damit sind die ASTER GDEM Daten genauer als die von der NASA⁸¹ verfügbaren SRTM Daten, die für dieses Gebiet nur eine Auflösung von 90×90 m haben. ASTER GDEM ist ein Produkt von METI⁸² und der NASA.

Basierend auf den Ergebnissen von GRASS GIS wurden die Einzugsgebiete der einzelnen Mekongzuflüsse ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.19 und 3.20 dargestellt.

Der Zuflusspunkt jedes einzelnen Nebenflusses zum Mekong ist auf der Karte dort zu verorten, wo das Einzugsgebiet den Mekong berührt. Die Nebenflüsse des Mekong selber sind jedoch nicht in der Karte eingezeichnet. Die Uferbereiche sind der Übersichtlichkeit halber als ein separates Gebiet dargestellt. Für die ermittelten Einzugsgebiete (siehe Abbildung 3.19) wurden die Flächen bestimmt und in Abbildung 3.20 dargestellt. Folgende Flächen werden unterschieden

- Einzugsgebiet zwischen der Talsperre Nuozhadu und Jinghong (gelb)
- Einzugsgebiet zwischen Jinghong und dem Goldenen Dreieck (grün)
- Einzugsgebiet des Mae Kok's, ein Hauptnebenfluss des Mekongs (orange)
- Einzugsgebiet zwischen dem Goldenen Dreieck und Chiang Khong (rosa)
- Uferbereich (hellblau).

Die Flächen der Einzugsgebiete sind in Tabelle 3.6 zusammengefasst.

⁷⁸Geographisches Informationssystem

⁷⁹Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

⁸⁰Global Digital Elevation Model (GDEM)

⁸¹National Aeronautics and Space Administration USA

⁸²Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan

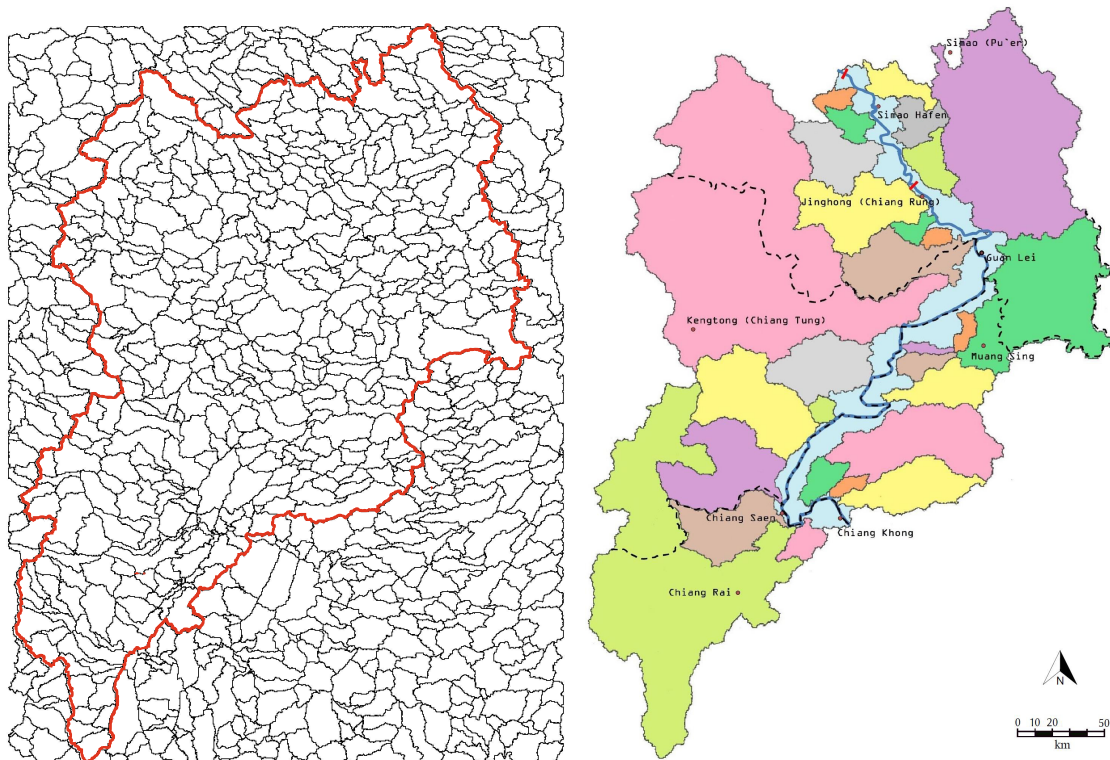


Abbildung 3.19: Ermittlung der Einzugsgebiete der Nebenflüsse des Mekong zwischen der Talsperre Nuozhadu und Chiang Khong

Tabelle 3.6: Größe der Teileinzugsgebiete des Mekong zwischen Nuozhadu und Chiang Khong

Einzugsgebiet [-]	China [km ²]	Myanmar [km ²]	Laos [km ²]	Thailand [km ²]	SUMME [km ²]
Mekong (Nuozhadu - Jing Hong)	4 594	0	0	0	4 594
Mekong (Nuozhadu - Goldenes Dreieck)	26 965	18 710	7 175	449	53 300
Mekong (Nuozhadu - Chiang Khong)	26 965	22 074	9 506	9 684	68 229
Mekong (Goldenes Dreieck - Chiang Khong)	0	3 363	2 331	9 236	14 930
Mae Kok Fluss	0	3 363	0	7 349	10 713

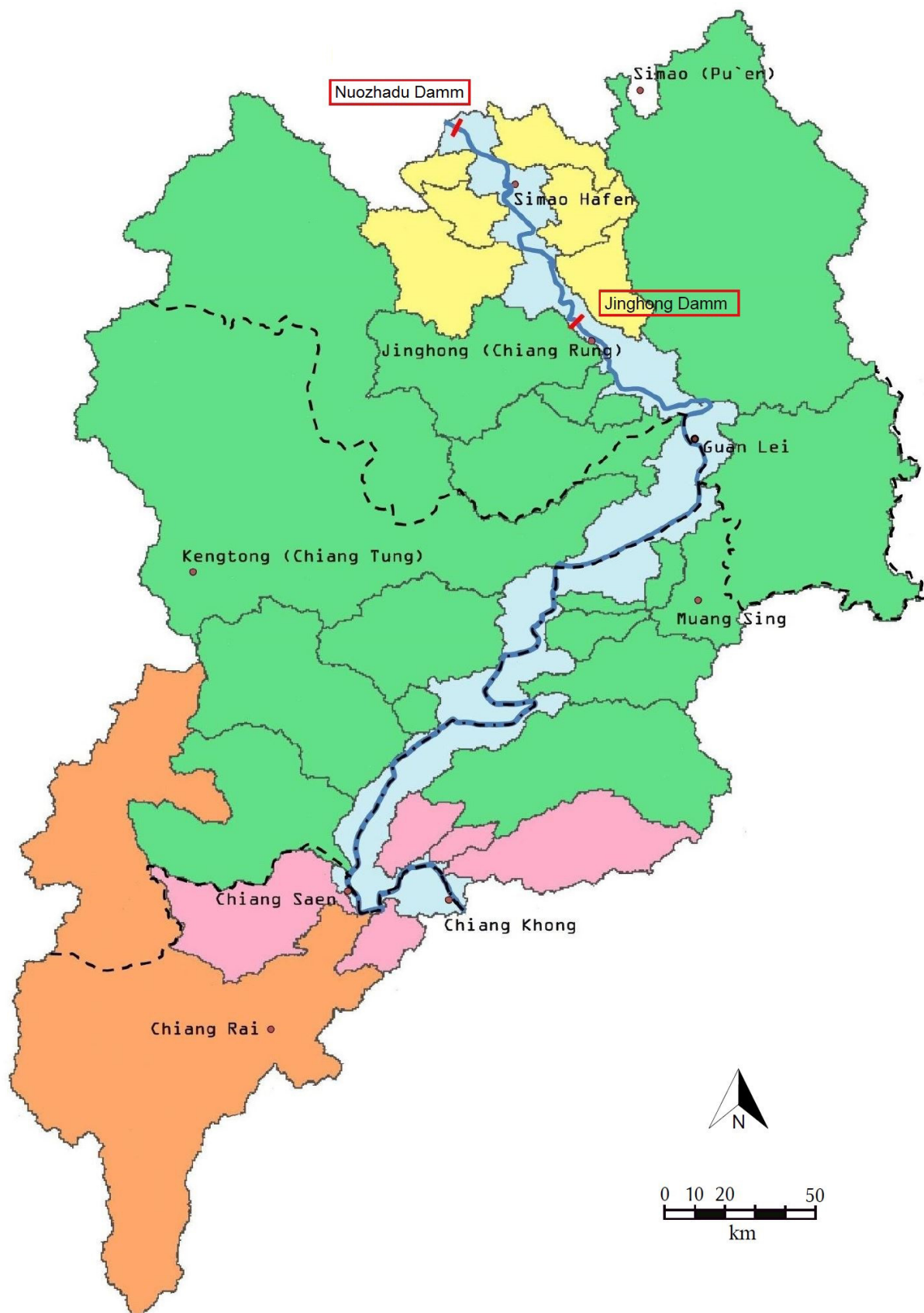


Abbildung 3.20: Einzugsgebiet des Mekong zwischen Nuozhadu Talsperre und Chiang Khong

3.5.2.2 Quantifizierung des Mekongabflusses nach der Jinghong Talsperre

Der Anteil des nach dem Jinghong Damm generierten Abflusses wurde über die Flächen der Einzugsgebiete des Mekong nach dem Jinghong Damm sowie des Mae Kok Flusses für die Jahre 1997 - 2001 (fünf Jahre vor Fertigstellung der ersten Bauphase des Dachaoshan Dammes in 2001, komplette Fertigstellung des Dammes in 2003) ermittelt. Dabei wurde angenommen, dass der Niederschlag im Einzugsgebiet des Mae Kok eine ähnliche Charakteristik und Menge (mm/a) hat wie im Einzugsgebietes des Mekong zwischen Jinghong und Chiang Khong, insbesondere in der Monsunzeit. Diese Annahme ist im Rahmen der angestrebten Genauigkeit zulässig, wie ein Vergleich mit einer Niederschlagskarte und einer Oberflächenabflusskarte in MRC [2011a] zeigt. Für die Zeit nach dem Monsun wurden Abflussereignisse mit außergewöhnlich hohen Abflusswerten nicht berücksichtigt, da hier von lokalen Regenereignissen ausgegangen werden kann.

Als Ergebnis der Analyse ergibt sich ein Graph, welcher die unterschiedlichen Abflussanteile gut darstellt (siehe Abbildung 3.21).

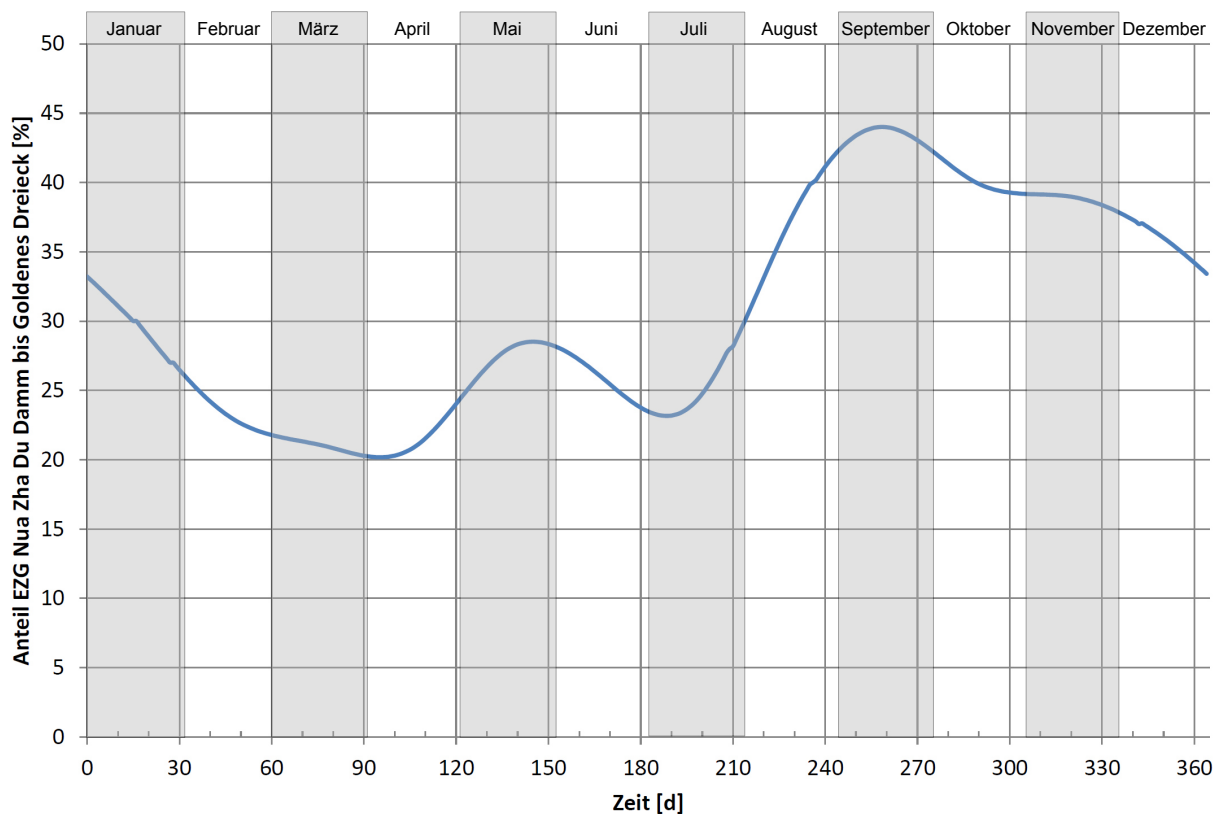


Abbildung 3.21: Anteil des im Einzugsgebietes stromabwärts von Jinghong bis zum Goldenen Dreieck generierten Abflusses am Gesamtabfluss des Mekong bei Chiang Khong (von Januar bis Dezember)

Während der Trockenzeit von Januar bis April nimmt der Anteil des Abflusses des Einzugsgebietes stromabwärts von Jinghong beständig bis auf 20 Prozent ab. Im April, mit Beginn der ersten Regenfälle, steigt der Anteil bis auf etwa 28 Prozent im Mai während der kleinen Regenzeit (Beginn Monsun) und geht dann wieder auf 23 Prozent vor der eigentlichen Regenzeit zurück. Während der Monsunzeit steigt der Anteil beständig bis auf 43 Prozent im September und nimmt dann mit den nachlassenden Niederschlägen ebenso ab.

Basierend auf den Ausführungen lässt sich eine modifizierte Abflussganglinie für das Jahr 2006 / 2007 für Chiang Saen generieren,⁸³ die in Abbildung 3.22 dargestellt ist. Hierbei ist der Einfluss der Talsperren auf die Abflussspitzen und den Abfluss in der Trockenzeit deutlich zu erkennen. Aus den Berechnungen ergibt sich, dass sich durch die Regulierung des Zuflusses vom Lancang-Mekong ganzjährig ein Mindestabfluss von 2 000 m³/s erreichen lässt, unter der Prämisse, dass der Betrieb der Talsperren auf die Regulierung des Wasserstandes zum Nutzen der Schifffahrt ausgerichtet ist.

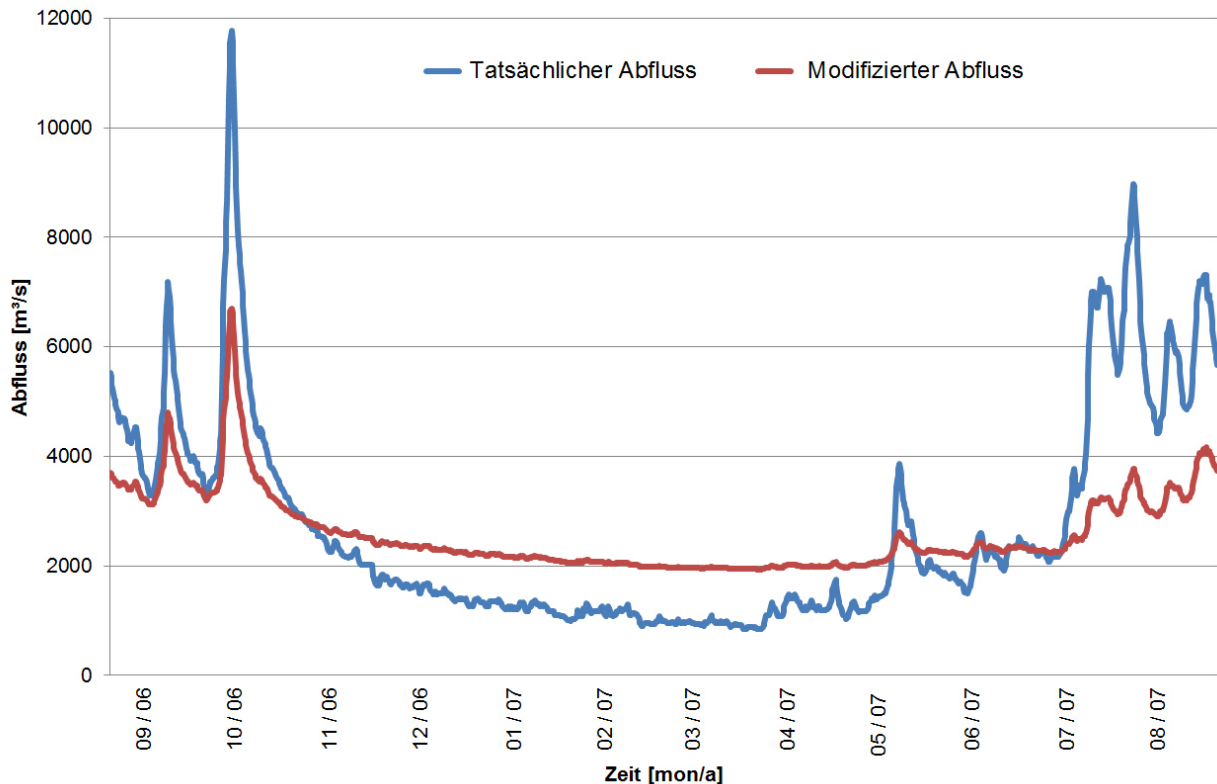


Abbildung 3.22: Mögliche Regulierung des Abflusses nach Fertigstellung der Dämme in China

3.5.3 Sedimentfrachten

3.5.3.1 Analyse der vorliegenden historischen Sedimentfrachten

Die Suspensionsfrachten werden von den Mitarbeitern der Pegelstation Chiang Saen seit dem Jahr 1962 regelmäßig ermittelt. Dazu werden Wasserproben aus dem Mekong etwa vier Kilometer stromabwärts von Chiang Saen genommen (siehe hierzu auch Kapitel 3.5.1.2 und Abbildung 3.9). Die Proben werden gemäß der Empfehlungen von ESCAP⁸⁴ und US Standards zweimal monatlich mit Hilfe eines USD-96⁸⁵ Probenentnehmers genommen und im Labor der Pegelstation Chiang Saen vor Ort analysiert. Über die Partikelkonzentration in den Proben und die zugehörigen Abflussvolumina (ermittelt über die mit Messflügeln ermittelte Fließgeschwindigkeit und den Wasserstand) wird die Sedimentfracht berechnet. In Ab-

⁸³Der Jahresabfluss in diesem Zeitraum (21.08.2006 - 20.08.2007) entspricht etwa dem mittleren Jahresabfluss der Jahre 20003-2008. Für diesen Zeitraum lagen dreimal täglich abgelesene Pegelraten für den Pegel Chiang Saen vor (siehe Kapitel 3.5.1.3).

⁸⁴Economic and Social Commission for Asia and the Pacific

⁸⁵US = Staat, D=Depth Integration, 96=Entwicklungsjahr

bildung 3.24 ist der Jahresdurchschnitt der Partikelkonzentration [mg/l] für den Zeitraum 1963 bis 2010 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass in den Jahren 1976 - 1992 keine Messungen durchgeführt werden konnten, da die laotische Seite dies in diesem Zeitraum nicht zuließ. Suspensionsfrachten wurden seit 2012 nicht mehr gemessen.⁸⁶



Abbildung 3.23: Boot und Messflügel USD 96 zum Messen der Sedimente

Die Fertigstellung der Unteren Lancangdammkaskade beginnt bereits einen sichtbaren Effekt auf die Sedimentfracht zu haben. In Abbildung 3.24 ist die deutliche Abnahme der Partikelkonzentration in den Proben der Jahre 2008 - 2010, kurz vor Fertigstellung der Xiaowan Talsperre, zu sehen. Etwa die Hälfte der Sedimente des Mekong kommt vom Lancang (Fu u. a. [2007]) und davon werden etwa 90% von den Dämmen zurückgehalten (MRC [2010]).

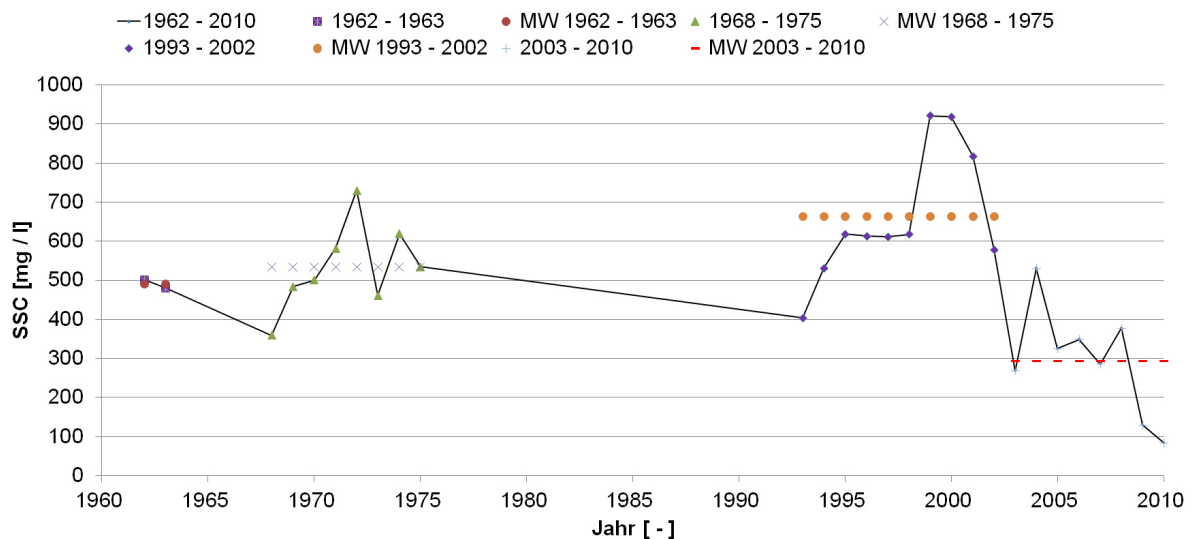


Abbildung 3.24: Partikelkonzentrationen im Jahresmittel (1963 bis 2010) bei der Pegelstation Chiang Saen

3.5.3.2 Entnahme und Analyse von Sedimentproben

Im Rahmen dieser Dissertation wurden Sedimentproben an zwei Stellen dem Flussbett entnommen, im Flussabschnitt zwischen Sop Ruak und Chiang Saen und im Abschnitt stromabwärts von Chiang Khong.

⁸⁶Im Jahr 2012 wurden auch Bedload Proben mit einem vom MRC bereitgestellten Gerät gemessen. Durch Probleme an den Gerätschaften waren die Messungen auf dieses eine Jahr beschränkt.



Abbildung 3.25: Sedimentproben aus dem Mekong (links) und Bedload (rechts)

In Abbildung 3.9 sind die Orte der Probenentnahmen dargestellt. Die Proben wurden während der Trockenzeit in zu diesem Zeitpunkt trockenen Bereichen des Flusses genommen. Während der Monsunzeit sind diese Bereiche überschwemmt. Die Proben wurden bis zu einer Tiefe von 60 cm entnommen, in 10 cm Schichtabständen. Diese Sedimentproben wurden anschließend im Labor der Chiang Mai Universität analysiert und ausgewertet. Zusätzlich wurden während der Monsunzeit mehrere Tauchgänge im Mekong unternommen und Proben der Bodenfracht direkt von der Sohle genommen. Das von der Sohle entnommene Material wies deutlich größere Korndurchmesser (bis 17 cm) auf, als das bei Trockenwetter im Uferbereich (bis 10 cm) entnommene.

In den Tabellen 3.7 und 3.8, sowie in der Abbildung 3.26 sind die Ergebnisse der Sedimentanalyse dargestellt. In Abbildung 3.27 ist die Kornverteilungskurve logarithmisch dargestellt, zusammen mit der modifizierten Kurve, die auch die größeren Korndurchmesser der Bodenfracht berücksichtigt. Auch dargestellt sind Verteilungskurven für voralpine Flüsse und die affine Kornverteilung für Flachlandflüsse nach Zanke [1982].

Tabelle 3.7: Sieblinienanalyse der Bodenproben von Chiang Saen

Lfd. Nr.	Sieb- durchmesser	Siebdurchgang (Schichttiefe unter GOK in cm)					
[-]	[mm]	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	75	100	100	100	100	100	100
2	37,5	74,8	86,3	76,2	84,6	74,4	88,8
3	19	56,2	58,3	52,9	65,4	53,3	68,7
4	9,5	38,9	40,3	38,6	44,6	39,5	53,5
5	4,75	28,3	28,7	29,9	33,5	31,4	42,8
6	2,36	23,7	23,6	25,6	28,8	27,5	37,6
7	1,18	21,4	20,2	22,3	25,9	24,2	33,3
8	0,6	9,1	11,6	11,9	12,8	12,5	17,5
9	0,3	1,3	1,5	1,2	2,0	1,2	2,1
10	0,15	0,4	0,1	0,1	0,7	0,1	0,2

Tabelle 3.8: Sieblinienanalyse der Bodenproben von Chiang Khong

Lfd. Nr.	Sieb- durchmesser [mm]	Siebdurchgang (Schichttiefe unter GOK in cm)					
		0-10 [%]	11-20 [%]	21-30 [%]	31-40 [%]	41-50 [%]	51-60 [%]
1	75	100	100	100	100	100	100
2	37,5	82,1	81,4	76,9	75,6	76,1	85,1
3	19	59,9	51,0	53,0	54,8	48,2	61,2
4	9,5	41,6	38,4	40,4	40,8	35,8	47,0
5	4,75	31,7	29,2	32,9	31,2	29,3	38,7
6	2,36	28,0	25,3	29,3	28,1	26,8	34,7
7	1,18	26,5	22,5	26,7	26,2	25,0	31,9
8	0,6	21,3	18,3	20,9	16,4	18,3	20,5
9	0,3	4,2	2,3	2,6	2,5	1,7	2,3
10	0,15	0,8	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1

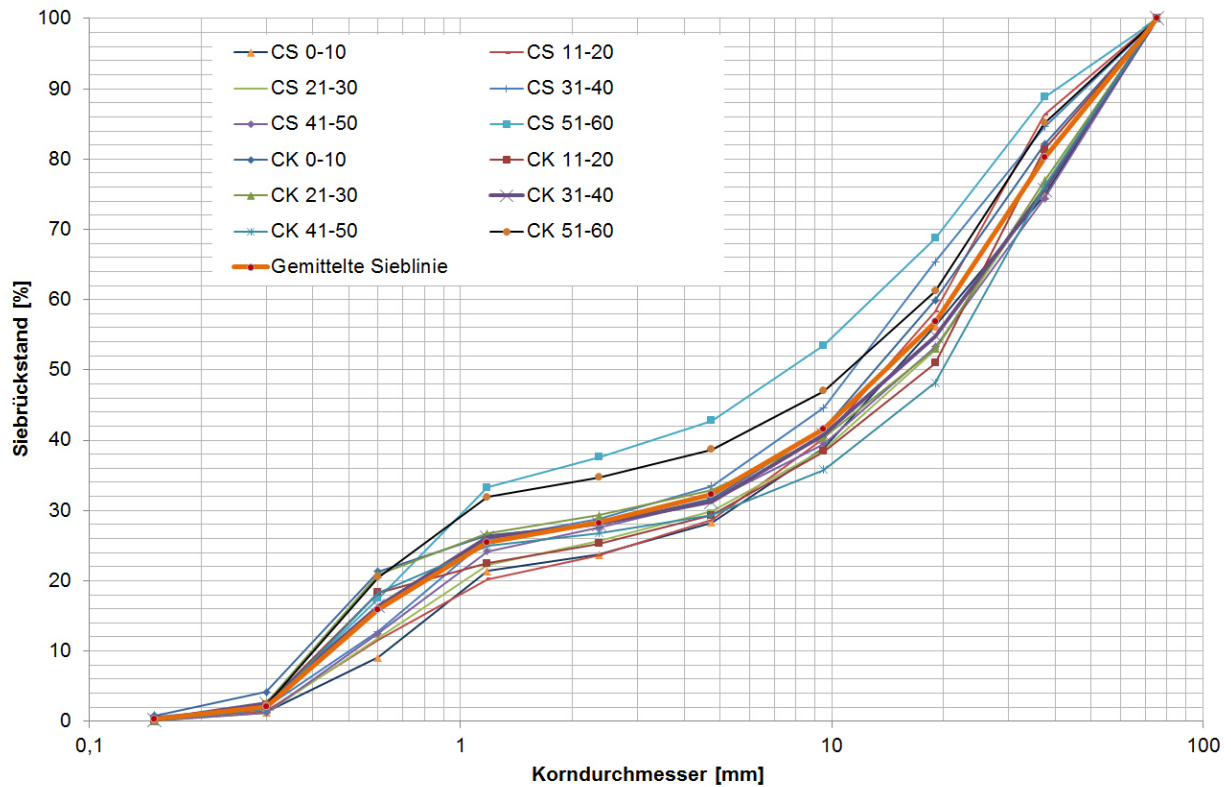


Abbildung 3.26: Korngrößenverteilung der Sedimentproben (CS=Chiang Saen, CK=Chiang Khong)

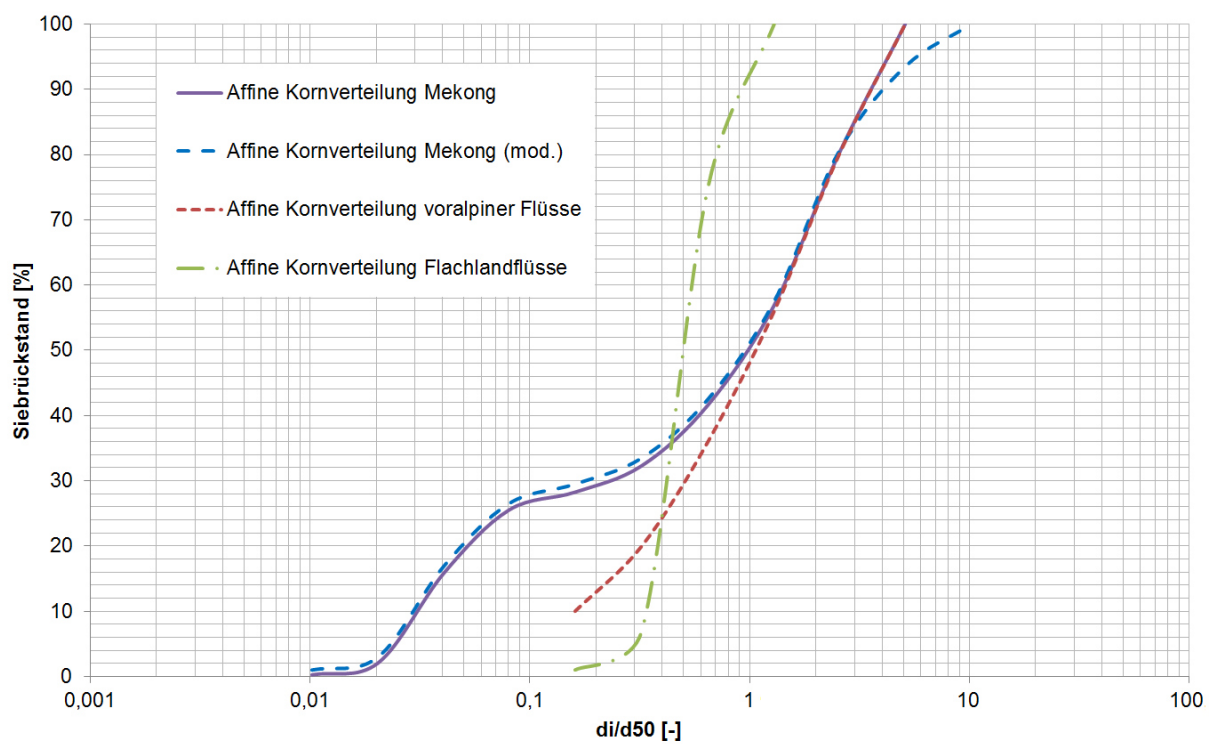


Abbildung 3.27: Logarithmische Korngrößenverteilung

3.6 Schifffahrt zwischen China und Thailand

3.6.1 Entwicklung des Schiffsverkehrs

Wie in Kapitel 2.3.2 dargestellt, begann die kommerzielle Schifffahrt auf dem Lancang-Mekong im Jahre 1994 mit der Unterzeichnung des Abkommens zur freien Navigation auf dem Lancang-Mekong. Einen weiteren Entwicklungsschub gab es im Jahr 2004, nachdem im Oktober 2003 ein Freihandelsabkommen für landwirtschaftliche Produkte⁸⁷ zwischen China und Thailand unterzeichnete wurde (Arunmas [2003]). Der Handel zwischen der chinesischen Provinz Yunnan und der thailändischen Provinz Chiang Rai verzeichnete daraufhin einen rasanten Anstieg und ist seitdem etwa konstant geblieben. Bis zum Jahr 2008 wurden Warentransporte von und nach Yunnan nur über den Hafen in Chiang Saen abgewickelt, da es bis dahin keine geeignete Straßenverbindung für den Warentransport zwischen China und Thailand gab. Seit der Fertigstellung des R3E Straßenabschnittes (oftmals auch als R3a bezeichnet) der asiatischen Fernstraße AH3 (siehe Kapitel 2.4) werden Waren auch auf dem Landweg über Chiang Khong von und nach China transportiert. Die neue Straßenverbindung zwischen Thailand und China hat zu einer signifikanten Abnahme des Warentransports durch die Schifffahrt auf dem Mekong von chinesischen Häfen nach Chiang Saen geführt.



Abbildung 3.28: Laotische und burmesische Frachtschiffe



Abbildung 3.29: Chinesische Frachter

⁸⁷Free Trade Area (FTA)

Negative Auswirkungen auf die Schifffahrt hatte auch die Ermordung zweier Schiffsbesatzungen im Oktober des Jahres 2011. Zwei chinesische Frachter wurden von Piraten gekapert und die gesamten Schiffsbesatzungen getötet⁸⁸ (Chaimon [2011a]). Die Schifffahrt zwischen Chiang Saen und Guan Lei wurde daraufhin für chinesische Frachter für mehrere Monate suspendiert. Dies führte dazu, dass laotische Schiffe bis nach Luang Prabang hin mobilisiert wurden und die Frachten von den chinesischen Booten übernahmen. Die Anzahl der laotischen Schiffe stieg dadurch von etwa 30 Schiffen sprunghaft auf mehrere hundert an (siehe Abbildung 3.30). Es wurde eine bilaterale Vereinbarung zwischen den vier Anrainerstaaten getroffen, dass der Abschnitt zwischen Guan Lei und dem Goldenen Dreieck von länderübergreifenden Polizeipatrouillenbooten überwacht wird (Chaimon [2011b], Bodeen [2011]). Daraufhin konnten die chinesischen Frachter wieder auf diesem Abschnitt des Mekong fahren. Die Anzahl der laotischen Schiffe verringerte sich allerdings daraufhin nicht und sie sind nun in direkter Konkurrenz zu den chinesischen Frachtern. In den Abbildungen 3.28 und 3.29 sind die unterschiedlichen Frachterttypen gezeigt.

Der erste Hafen in Chiang Saen (Chiang Saen I) wurde am 1. Oktober 2003 in Betrieb genommen (MDPAT [2009]). Dieser Hafen liegt direkt in der Stadt Chiang Saen. Vor dem Bau des Hafens wurden die Schiffe an etwa gleicher Stelle direkt am Ufer be- und entladen. Aufgrund der schnell wachsenden Handelsbeziehungen konnte der Hafen sehr bald den starken Anstieg der Schiffslandungen und den Frachtzuwachs nicht mehr handhaben. Hinzu kommt, dass Chiang Saen eine alte, historische Stadt ist. Um das gestiegene Handelsvolumen zu handhaben und negative Auswirkungen auf den Tourismus zu vermeiden, wurde ein neuer Hafen etwas flussabwärts gebaut. Dieser Hafen wird Handelshafen Chiang Saen,⁸⁹ oder auch Chiang Saen II genannt. Er wurde am 1 April 2013 in Betrieb genommen. Der alte Hafen in Chiang Saen wird jetzt meist als Hafen für Touristenboote genutzt, jedoch in Ausnahmefällen auch weiterhin für Frachter.

Tabelle 3.9: Entfernungen zum Hafen Chiang Saen II (Sirichote u. Khiaotai [2014], modifiziert, und MC [1970])

Name des Hafens	Land	Entfernung nächster Hafen	Entfernung Chiang Saen	Dauer Bergfahrt	Dauer Talfahrt
[-]	[-]	[km]	[km]	[h]	[h]
Simao Hafen	China	85	432	40	20
Jinghong	China	80	347	30	15
Guan Lei	China	80	267	25	12
Suo Loi	Myanmar	80	187	18	8-10
Xiang Kuk	Laos	74	113	11	5
Maung Mok	Laos	88	25	2	1
Wan Pang	Myanmar	0	25	2	1
Goldenes Dreieck	Thailand	10	15	1	0,5
Chiang Saen II	Thailand	53	-	-	-
Chiang Khong	Thailand	0	53	4	2,5-3
Houy Xay	Laos	130	53	4	2,5-3
Pak Beng	Laos	133	183	10	6
Luang Prabang	Laos	n.a.	369	20	12
Mündung	Vietnam	-	2 370	n. a.	n. a.

⁸⁸Insgesamt 13 Personen.

⁸⁹Chiang Saen Commercial Port

Abbildung 3.30 zeigt die Entwicklung der Anzahl der Schiffe, deren Ladung im Hafen in Chiang Saen gelöscht wurde. Dabei sieht man in fast allen Jahren den Einfluss der Trockenzeit, jeweils in der ersten Jahreshälfte, die zu einem Rückgang der Ankünfte führt.

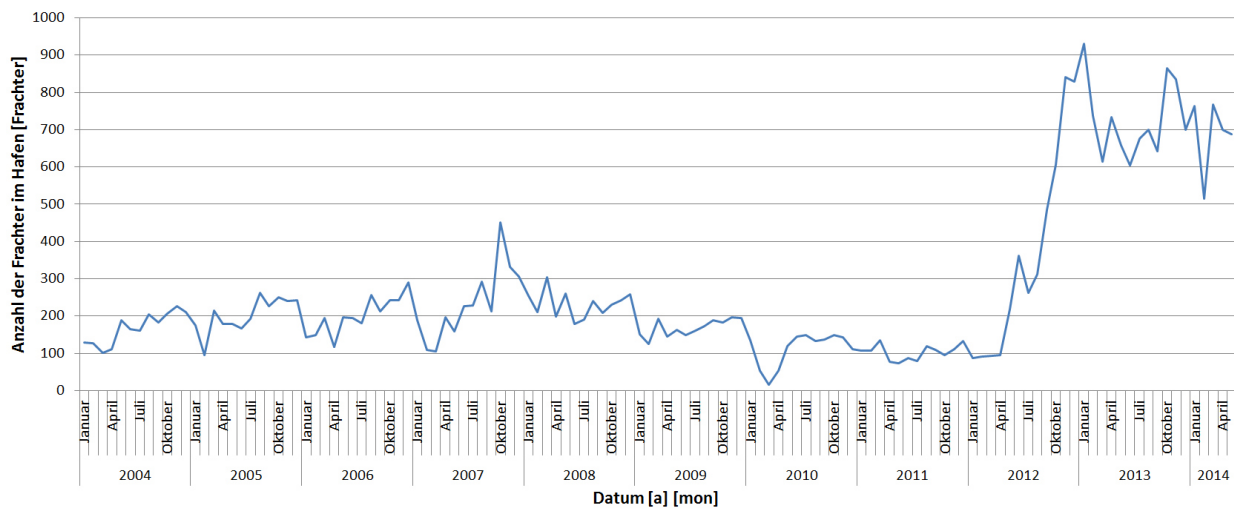


Abbildung 3.30: Anzahl der Schiffsankünfte im Hafen Chiang Saen zwischen 2004 und 2014 (Jinnikon [2014])

Der starke Anstieg der Schiffszahlen ab dem Jahr 2012 ist auf den zuvor geschilderten Zwischenfall auf dem Mekong zurückzuführen, infolgedessen laotische Schiffe die großen chinesischen Frachter ersetzten. Die aktuelle Anzahl der chinesischen Schiffe ist allerdings in etwa wieder dieselbe wie im Jahr 2011. Die Eröffnung des Handelshafen Chiang Saen hat bisher keine Auswirkung auf die Anzahl der chinesischen Schiffe gehabt.

In Abbildung 3.31 sind die prozentualen Anteile der Frachter nach Flaggen zu sehen. Die mit Abstand meisten Frachter sind aus Laos, gefolgt von Frachtern aus China und Myanmar. Die unter thailändischer Flagge fahrenden Frachter haben nur einen verschwindend kleinen Anteil.

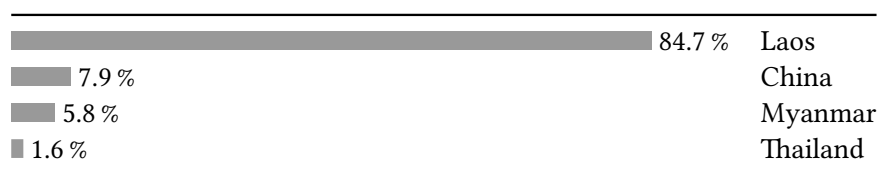


Abbildung 3.31: Frachter nach Flaggenstaat, April 2012 - Mai 2014 (Jinnikon [2014], Sirichote u. Khiaotai [2014])

Der Hafen in Chiang Khong wurde nur einige Monate nach dem Hafen Chiang Saen in Betrieb genommen, am 1. Dezember 2003 (MDPAT [2009]). Auch hier legten die Schiffe vor dem Bau des Hafens zum be- und entladen direkt am Ufer an. In Abbildung 3.10 ist die Entwicklung der Anzahl der Frachter im Hafen von Chiang Khong dargestellt. Daraus ist keine Tendenz ersichtlich. Die monatliche Anzahl der Frachter, die zwischen Chiang Khong und Luang Prabang unterwegs sind, bewegt sich in etwa zwischen 10 und 30. Seit der Lückenschließung der AH3 durch Fertigstellung der neuen Brücke über den Mekong im Dezember 2013, wurde die Fährverbindung zwischen Chiang Khong und Huay Xai so gut wie eingestellt. In Tabelle 3.11 ist die Anzahl der Fährankünfte der Vollständigkeit halber dargestellt.

Tabelle 3.10: Frachterankünfte Chiang Khong (Laugafaeng [2014])

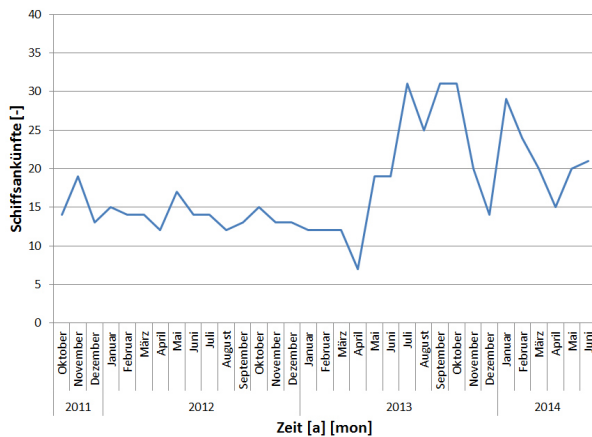


Tabelle 3.11: Fährankünfte Chiang Khong (Laugafaeng [2014])

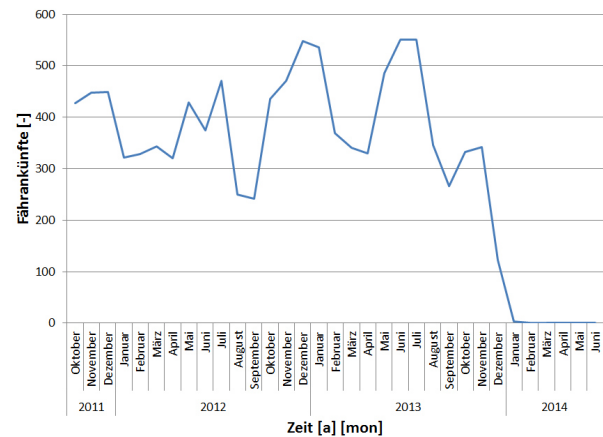


Tabelle 3.12: Entwicklung der Importe und Exporte von Chiang Saen in verschiedene Regionen (MOCC [2014])

Jahr	China		Laos		Myanmar	
	Import	Export	Import	Export	Import	Export
	[Mio. Baht]	[Mio. Baht]	[Mio. Baht]	[Mio. Baht]	[Mio. Baht]	[Mio. Baht]
2004	1 242	2 110	65	270	1,2	197
2005	1 047	4 172	47	453	44	1 326
2006	1 090	4 189	22	405	33	1 221
2007	932	5 226	12	267	3,3	1 007
2008	1 363	3 646	25	327	0,2	1 717
2009	1 243	3 219	20	362	0	1 502
2010	956	3 210	37	1 151	0	1 811
2011	699	3 660	30	3 314	3,2	2 505
2012	635	4 815	26	4 740	0,2	2 723
2013	629	3 344	26	6 342	0,4	2 488

Statistiken des Büros für Handel in Chiang Rai⁹⁰ zeigen die Entwicklung des Handels mit China, Laos und Myanmar in den letzten Jahren. In Tabelle 3.12 sind die Im- und Exporte von Chiang Saen in die Nachbarländer aufgeführt. Hier zeigt sich für die Importe von allen drei Ländern nach Thailand eine stetige Abnahme der Importe, wohingegen die Exporte entweder auf unverändertem Niveau geblieben (China) oder stark angestiegen sind (Laos und Myanmar). In den Abbildungen 3.32 und 3.33 sind die Entwicklungen der Warenim- und exporte von Chiang Saen bzw. Chiang Khong nach China dargestellt. Die über Chiang Saen abgewickelten Importe von China sinken mit der Fertigstellung der R3E/R3a Straßenverbindung in 2008 (siehe Kapitel 2.4), wohingegen das über Chiang Khong importierte Warenvolumen ab diesem Zeitpunkt stetig zunimmt.

⁹⁰Office of Commercial Affairs Chiangrai under the Ministry of Commerce Thailand

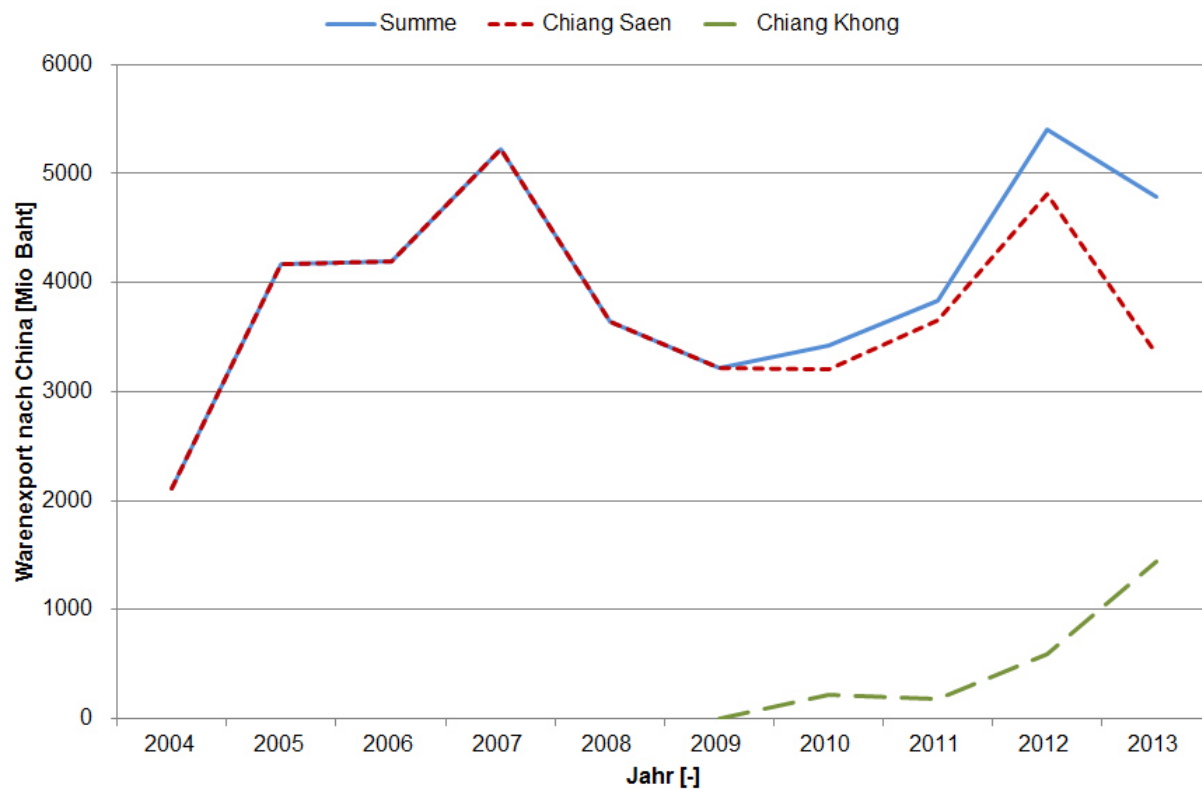


Abbildung 3.32: Warenexporte von Chiang Saen und Chiang Khong nach China (MOCC [2014])

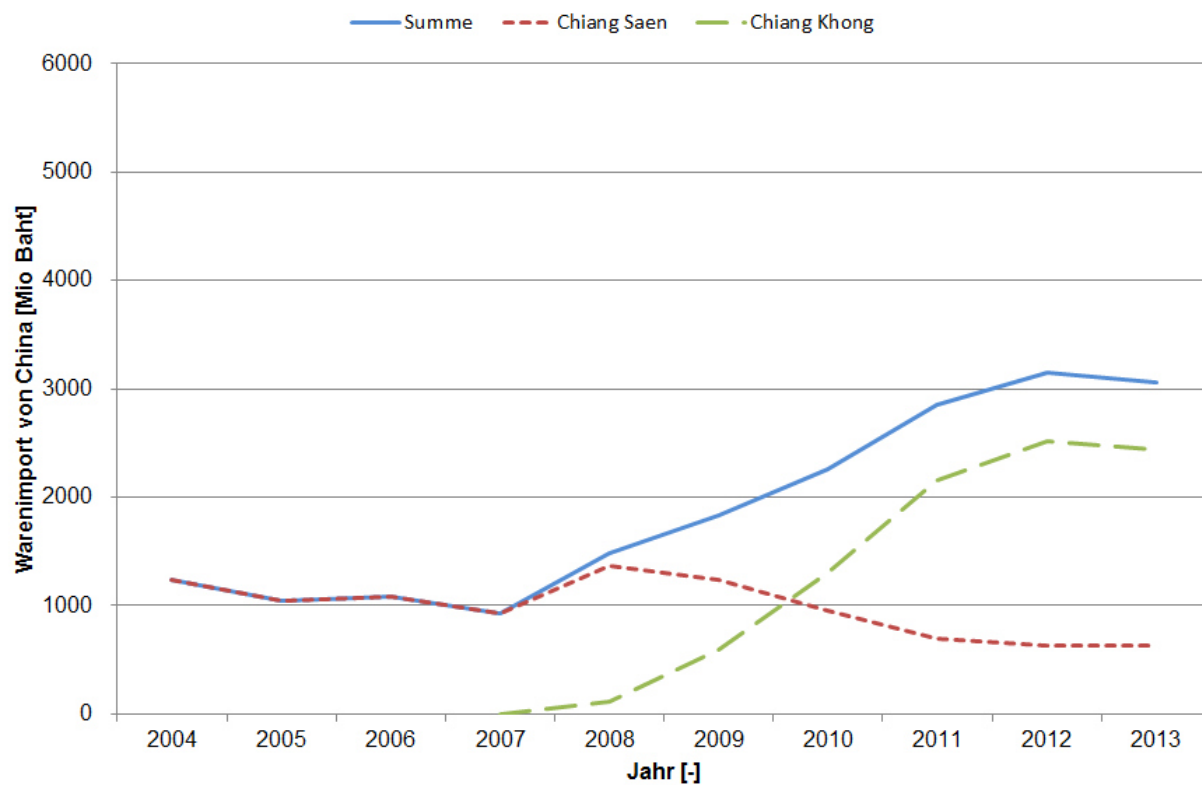


Abbildung 3.33: Warenimporte von China nach Chiang Saen und Chiang Khong (MOCC [2014])

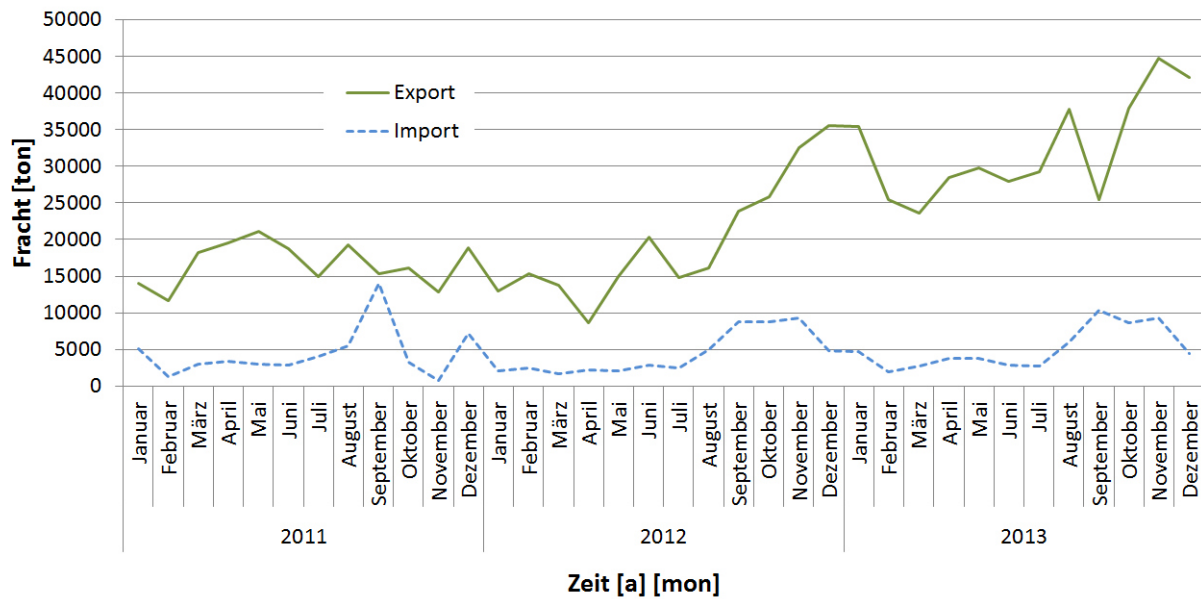


Abbildung 3.34: Frachtaufkommen im Hafen Chiang Saen (2011 nach MRC [2013b], für 2012 und 2013 nach Sirichote u. Khiaotai [2014])

3.6.2 Abmessungen von Schiffen und Schiffsverbänden

Die Europäischen Binnenwasserstraßen werden in sieben Klassen eingeteilt. Während die Klassen I - III Wasserstraßen von nationaler Bedeutung sind, werden sie ab Klasse IV als internationale Wasserstraßen bezeichnet. Laut Lattermann [2010] wird heute empfohlen, internationale Wasserstraßen nach Klasse Vb, also für 3 200 bis 6 000 DWT, auszubauen. Siehe hierzu Tabelle 3.13. Bei einem Vergleich mit Tabelle 3.1 ist zu sehen, dass der Mekong von diesem Ausbaugrad, bis auf den letzten Abschnitt von Phnom Penh bis zur Mündung, weit entfernt ist.

Basierend auf den von Sirichote u. Khiaotai [2014] erhaltenen Daten wurde Tabelle 3.14 erstellt, welche die Abmessungen der auf dem Mekong üblichen Frachtschiffe zeigt. Hieraus ist ersichtlich, dass sich die Frachter Typ 3 in Tabelle 3.14 mit den Binnenschiffen Penische (Klasse I) und Kampenar (Klasse II) in Tabelle 3.13 recht gut vergleichen lassen. Damit entsprechen die größten Frachter auf dem Lancang-Mekong etwa den kleinsten, auf den europäischen Binnengewässern üblichen Schiffen.

3.6.3 Durchgeführte Maßnahmen zur Verbesserung der Schifffahrt

Vom technischen Arbeitskomitee zur Entwicklung des Lancang-Mekong (siehe Kapitel 2.3.5) wurde, basierend auf dem Report zur Untersuchung der Schiffbarkeit des Mekong zwischen China und Thailand (Ding [1993]) und weiteren eigenen Untersuchungen, der Ausbau des Mekong in drei Phasen vorgeschlagen, von denen die ersten beiden Phasen bereits implementiert wurden.

Die erste Ausbauphase fand zwischen den Jahren 2002 und 2004 statt, mit der Sprengung von 10 gefährlichen Felsenriffen zwischen Guan Lei und dem Goldenen Dreieck und ist abgeschlossen. Dadurch wurde eine Navigation mit Schiffe mit bis DWT 100 bei einer Fahrwassertiefe von 1,5 m fast das ganze Jahr über

Tabelle 3.13: Klassifikation der europäischen Binnenwasserstrassen und Schiffstypen (nach ECMT [1992])





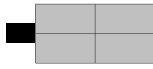
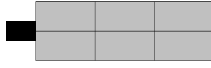

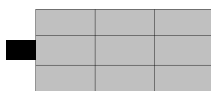
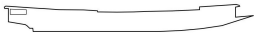

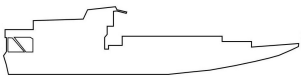
Klasse [-]	Schiffsbezeichnung [-]	Erläuterung [-]	(max) Länge [m]	(max) Breite [m]	Tiefgang [m]	Tonnage [t]
I	Penische	westlich der Elbe	38,5	5,05	1,80 – 2,20	250 – 400
	Gross Finow	östlich der Elbe	41	4,7	1,4	180
II	Kampenar	westlich der Elbe	50 – 55	6,6	2,5	400 – 650
	BM-500	östlich der Elbe	57	7,5 – 9,0	1,6	500 – 630
III	Gustav Koenigs	westlich der Elbe	67 – 80	8,2	2,5	650 – 1000
		östlich der Elbe	67 – 70	8,2 – 9,0	1,6 – 2,0	470 – 700
IV	Europaschiff (Johann Welker)		80 – 85	9,5	2,5	1000 – 1500
	Schubverband		85	9,5	2,5 – 2,8	1250 – 1450
Va	Großmotorgüterschiff		95 – 110	11,4	2,5 – 2,8	1500 – 3000
	Schubverband		95 – 110	11,4	2,5 – 4,5	1600 – 3000
Vb	Schubverband		172 – 185	11,4	2,5 – 4,5	3200 – 6000
VIa	Schubverband		95 – 110	22,8	2,5 – 4,5	3200 – 6000
VIb	Schubverband		185 – 195	22,8	2,5 – 4,5	3200 – 6000
VIc	Schubverband		270 – 280	22,8	2,5 – 4,5	9600 – 18000
			195 – 200	33,0 – 34,2	2,5 – 4,5	9600 – 18000
VII	Schubverband		285	33 – 34,2	2,5 – 4,5	14500 – 27000

Tabelle 3.14: Gängige Schiffstypen auf dem Lancang - Mekong

Frachterttyp	Breite [m]	Länge [m]	Tiefgang [m]	DWT [ton]
Typ 1: 	2,6 - 5,5	12,5 - 43	0,4 - 1,2	20 - 80
Typ 2: 	4,0 - 6,0	30 - 43	0,8 - 1,5	80 - 150
Typ 3: 	6,7 - 8,3	40 - 53	1,5 - 2,5	150 - 450

möglich. Hierzu gibt es keine entsprechende Klasse in der Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen, da hier die niedrigste Kategorie 180 DWT beträgt (Gross Finow, Klasse I östlich der Elbe).

Auch die zweite Phase, die eine durchgängige Schiffbarkeit des Flussabschnittes für Schiffe mit DWT 300 bei einer Fahrwassertiefe von 2,0 m erreicht, ist abgeschlossen. Hier ist das Äquivalent die Klasse I (Pennische, westlich der Elbe) in der Klassifizierung der europäischen Binnenwasserstraßen. Die meisten chinesischen Schiffe sind DWT 300, für welche während der letzten Jahre während der Trockenzeit nur eine beschränkte Navigation möglich war. Durch die Fertigstellung der Nuozhadu Talsperre und die damit verbundene Flussregulierung wird hier in den kommenden Jahren eine deutlich längere Navigationsphase möglich sein.

In der dritten und letzten Ausbauphase soll eine Navigation von Vierer-Schiffsverbänden mit 4 x 500 DWT möglich sein, was in etwa der Klassifizierung von Schubverbänden in Klasse VIb entspricht. Hierbei ist zu beachten, dass die Schiffsverbände in Klasse VIb allerdings eine höhere Tonnage (6 400 - 12 000 DWT) haben.

4 Erstellung einer bathymetrischen Karte des Mekong im Projektgebiet

In Kapitel 3.4 sind zwei vorhandene bathymetrische Karten des Mekong im Projektgebiet abgebildet (Abbildung 3.7), welche erkennen lassen, dass der aus den verfügbaren Quellen vorhandene Datenumfang sehr begrenzt und nicht ausreichend für eine hydrodynamische Modellierung mit verlässlichen Schlussfolgerungen war. Es wurde daher die Flusssohle des Mekong auf einer Länge von etwa 70 km im Projektgebiet (vom Goldenen Dreieck, bis zur Stadt Chiang Khong) vom Autor dieser Dissertation mit einem Sonargerät neu vermessen, um eine solide Datengrundlage mit einer ausreichenden Anzahl von Datenwerten zu erhalten.

4.1 Darstellung möglicher Verfahren zur Tiefenmessung

Die Gewässertiefe zur Erstellung einer bathymetrischen Karte kann mit verschiedenen Methoden gemessen werden. Manuelle Tiefenmessungen, mit Handlot und Stangenlot, werden zur Kartierung sehr flacher, stehender oder langsam fließender Gewässer eingesetzt. Hierbei wird die Position des Stangenlotes eingemessen und die Wassertiefe abgelesen. Bei tieferen und fließenden Gewässern wird ein Seil über das Gewässer gespannt, welches als Richtungsschnur für ein Boot dient, von dem aus die Tiefe mit Hand- oder Stangenlot gemessen wird. Stangenlote werden auch bei der Navigation eingesetzt, zum Beispiel von den chinesischen Frachtern auf dem Lancang-Mekong, um Untiefen in flachen Flusspassagen zu identifizieren.

Weit verbreitet für Gewässerkartierungen sind Tiefenmessungen durch an Boote montierte Echolote, bei denen mittels der Reflektion von Schallsignalen die Tiefe des Gewässers bestimmt wird. Es gibt mehrere Arten von Echoloten. Echolote, bei denen die Messung mit nur einem Messstrahl durchgeführt wird, Fächerecholote, die mit einem Strahlenbündel arbeiten und Flächenecholote bei denen mehrere Echolote in bestimmten Abständen gleichzeitig messen. Moderne Geräte verfügen über einen integrierten GPS Empfänger, so dass die Tiefendaten direkt mit den zugehörigen Koordinaten aufgezeichnet werden.

Seit einigen Jahren werden luftgestützte Laserscanner im sogenannten Airborne Laserscanning (ALS) zur topographischen Vermessung eingesetzt. Hierbei sendet ein Laser von einem Flugzeug oder Helikopter aus sehr kurze Laserimpulse im nahen Infrarotbereich ($\lambda=1\,064\text{ nm}$), die allerdings Wasseroberflächen nicht durchdringen können. Für Anwendungen in der Hydologie und Wasserwirtschaft wird ein grün-blaues Laserlicht ($\lambda=532\text{ nm}$) zur sogenannten Airborne Laser Bathymetrie (ALB) eingesetzt (Mandlbürger u. a. [2009]). Dieses Laserlicht kann Wasseroberflächen durchdringen und Gewässersohlen bis zu einer Tiefe

von 60 m vermessen, wobei die vertikale Genauigkeit ± 15 cm ist (Irish u. Lillycrop [1999]). Eine Durchdringungstiefe des Lasers von 60 m ist allerdings nur bei klarem Wasser erreichbar. Bei trüben Gewässern kann der Laser weniger tief eindringen (Niemeyer u. a. [2014]). Mandlbürger u. a. [2009] führt aus, dass der ALB zum Einsatz bei fest- und schwebstoffreichen Flüssen nicht geeignet ist. Daher ist ein Einsatz dieser Methode bei vielen Gewässern auf die flachen Übergangszonen im Uferbereich beschränkt. Bei ALS/ALB Vermessungen in der Ostsee konnte die Gewässersohle bei günstigen Bedingungen bis zu einer Tiefe von 8 m vermessen werden. Ein Abgleich mit durch eine terrestrische Vermessung gewonnenen Daten zeigte Abweichungen von weniger als ± 10 cm (Dobler u. a. [2013]).

4.2 Darstellung möglicher Verfahren zur Georeferenzierung

Die gemessenen Gewässertiefen müssen georeferenziert werden. Dieses kann durch erdgestützte Vermessungssysteme, GPS, differentielles GPS⁹¹ und RTKGPS⁹² geschehen (Heine u. a. [2005]).

Höhere Genauigkeiten, die im ± 1 m Bereich liegen, können durch Differenzielles GPS (DGPS) erreicht werden. Hier werden Code-Korrekturen für die Beobachtungen auf der ersten GPS-Frequenz übertragen (Bauer [2003]). Dieses ist allerdings sehr aufwendig und kostenintensiv, da Referenzstationen eingerichtet und dazu notwendiges Equipment mit geschultem Personal erforderlich ist. Noch genauere Messungen sind mit RTKGPS-Systemen möglich, die auch für Messungen von Gewässersohlen eingesetzt werden; in Heine u. a. [2005] werden die damit gemachten Erfahrungen mit Flusspeilungen in kleinen und mittelgroßen Flussläufen dargestellt.

4.3 Sonargerät zur Durchführung der Messungen

Zur Vermessung des Mekong im Projektgebiet wäre eine Kombination von Flächensonar und ALB erstrebenswert. Da der Mekong im Projektgebiet bis zu 60 m tief und ein schwebstoffreicher Fluss ist, wäre ein Flächensonar gut geeignet, um die meisten Sohlenbereiche abzubilden. Ein ALB könnte zusätzlich in der Trockenzeit eingesetzt werden, um die Uferbereiche und die felsigen Bereiche abzubilden. Aus Kostengründen wurde jedoch im Rahmen dieser Arbeit die Vermessung mit dem Sonargerät 798c SI Combo von der Firma Humminbird durchgeführt. Dieses Gerät wird vor allem in der Sportschifffahrt eingesetzt, kann aber auch zur Tiefenmessung, zum Erstellen von Seekarten und beim Fischfang verwendet werden. Das Gerät verfügt über einen eigenen GPS Empfänger. Das Sonargerät arbeitet mit einem Dualen Sonar und bietet die Möglichkeit, die gemessenen Daten aufzuzeichnen und auf einer SD Karte zu speichern. Dabei werden die Position, die Tiefe, das Datum und die Uhrzeit, sowie Geschwindigkeit und die Fahrtrichtung gespeichert.

⁹¹ Die Abkürzung GPS steht für Global Positioning System und ist die nun übliche Verwendung für das von den USA entwickelte Ortungssystem NAVigation Satellite Timing And Ranging - Global P Positioning System, welches zuvor als NAVSTAR-GPS bezeichnet wurde.

⁹² Real Time Kinematic GPS



Abbildung 4.1: Sonargerät und Zubehör zur Durchführung der Tiefenmessungen

Die Messgenauigkeit des verwendeten Sonargerätes wird vom Gerätehersteller mit ± 63.5 mm angegeben (Humminbird [2009]). Diese Angabe gilt für Messungen bei einer Wassertiefe von mehr als 50 cm. In flacheren Bereichen können die Messungen fehlerbehaftet sein. Ursache hierfür sind nach Wessels u. a. [2013] die Mehrfachreflektionen der Echos zwischen Wasseroberfläche und Flusssohle, wodurch es zu Fehlinterpretationen der Messungen durch das Echolot kommt.

Der für die Vermessung verwendete GPS Empfänger des Sonargerätes kann durch Berücksichtigung sogenannter SBAS⁹³ Systeme eine horizontale Lagegenauigkeit von 5 m und besser erreichen. Im Benutzerhandbuch des Sonargerätes werden EGNOS⁹⁴ für Europa, WAAS⁹⁵ für die USA und MSAS⁹⁶ für Ostasien erwähnt. Das Projektgebiet liegt knapp außerhalb des Bereiches, der von MSAS abgedeckt wird. Es kann aber durchaus davon ausgegangen werden, dass die Messgenauigkeit des GPS Empfängers noch von MSAS profitiert (Gakstatter [2008]). Die vom Sonargerät bei den Vermessungen im Projektgebiet angezeigten Genauigkeiten lagen regelmäßig bei 3 m, was darauf schließen lässt, dass hier noch ein Einfluss von MSAS vorliegt. Inwieweit bereits das von Indien in Implementierung befindliche System Gagan⁹⁷ einen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen gehabt haben könnte, ist schwer abschätzbar, da gemäß den Ausführungen in (AAI [2010]) die Installation erst im Jahr 2013 abgeschlossen sein sollte. In Abbildung 4.1 ist das verwendete Gerät zusammen mit anderen, für die Messungen notwendigen Gerätschaften abgebildet.

Abschließend lässt sich sagen, dass die mit dem gewählten Sonargerät zu erreichenden Genauigkeiten (vertikal: $\pm 63,5$ mm; horizontal: ± 5 m) in Relation zum erforderlichen Aufwand akzeptabel sind.

⁹³Satellite-based augmentation systems

⁹⁴European Geostationary Navigation Overlay System

⁹⁵Wide Area Augmentation System

⁹⁶MTSAT Satellite-Based Augmentation System

⁹⁷GPS Aided Geo Augmented Navigation

4.4 Entwicklung und Optimierung einer Messeinrichtung

Das im Rahmen dieser Arbeit eingesetzte Echolot wurde mit einer Befestigungsvorrichtung geliefert, die für die im Projektgebiet vorhandenen Booten nicht geeignet war. Es war daher notwendig, eine eigene Befestigungseinrichtung zu entwerfen, zu testen und durch Versuche zu optimieren. Erste Überlegung favorisierten eine Befestigung des Sonargerätes am Heck des Bootes. Problematisch sind hierbei jedoch Vibrationen des Schiffsmotors, sowie Verwirbelungen und Luftblasen durch die Schiffsschraube. Daher wurden Versuche mit einer seitlich am Schiffsrumpf angebrachten Befestigung durchgeführt.⁹⁸ Es zeigte sich, dass die seitliche Befestigung ebenfalls nicht geeignet war, da die Sonarmessungen durch am Schiffsrumpf auftretende Verwirbelungen und Turbulenzen beeinflusst werden. Es war zusätzlich nicht möglich, die seitliche Befestigung stabil am Bootsrumpf zu befestigen. Dies resultierte in starken Ausschlägen und Schwankungen der Befestigungseinrichtung, durch welche die Güte der Messergebnisse negativ beeinflusst wurde.

Um jegliche Störungen der Sonarmessungen durch den Schiffskörper auszuschließen, wurde schließlich eine Versuchseinrichtung zur Befestigung des Sonargerätes am Bug des Schiffes entworfen. Die Befestigung einer Eisenplatte in Trapezform am Bug des Bootes erwies sich als eine gut geeignete Lösung.⁹⁹ Auf die Trapezplatte wurde die Halterung für die Geberstange geschweißt und am Schiffsbug durch vier Schraubstöcke fixiert.¹⁰⁰ Daran konnte die Geberstange befestigt werden, an deren unterem Ende das Sonar und am oberen Ende das GPS installiert wurde. Um möglichst genaue Messungen zu bekommen, war darauf zu achten, dass der Geber mit der Vorderseite leicht nach unten geneigt ist. Bei einer Neigung nach oben können die dabei entstehenden Verwirbelungen zu falschen Messdaten führen. Die am Boot montierte Versuchsanordnung ist in Abbildung 4.2 gezeigt.

Ein Vorteil der entworfenen Befestigungseinrichtung ist die einfache Justierung der Höhe. Dies war während der Durchführung der Messungen wichtig, da nicht immer dasselbe Boot zum Einsatz kam und die Eintauchtiefe der Boote unterschiedlich war.¹⁰¹ Ein weiterer Vorteil der Konstruktion war, dass bei Kontakt mit Treibgut die Geberstange zum Heck hin und auch nach oben wegschwenkte. Dadurch wurde die Gefahr einer Beschädigung des Sonars minimiert. Wie wichtig dies war, zeigte sich bei Fahrten nach heftigen Regenereignissen bei denen der Fluss zum Teil soviel Treibgut führte, dass die Messungen unterbrochen werden mussten.

⁹⁸Versuchsfahrten zur Optimierung der Versuchseinrichtung wurden auf dem Fluss Mae Kok, der ein Nebenfluss des Mekong ist, und anschließend auf dem Mekong selber durchgeführt.

⁹⁹Da die Schiffe aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK oder auch Fiberglas) bestanden, wurde zum Schutz des Bugs auf die Unterseite des Eisens ein 1 cm dickes Gummiband geklebt. Um trotz der leichten Wölbung des Buges eine stabile Befestigung zu erreichen, wurde an beiden Außenseiten des Trapezes eine zusätzlich Schicht Gummi aufgebracht. Dadurch war eine Installation auch auf Schiffen mit leicht unterschiedlichen Bugformen gut möglich. Die Befestigungseinrichtung hatte folgende Maße: Grundseiten 35 cm und 20 cm; Höhe 24 cm.

¹⁰⁰Während der Probefahrten zur Optimierung der Befestigung zeigte sich, dass enorme Kräfte auf die Halterung wirken. Dies führte dazu, dass nur Schrauben mit einer hohen Festigkeit verwendet werden konnten und im Verlauf der Probefahrten die Anzahl der Schrauben zur Fixierung der Versuchsanordnung zum Teil verdoppelt werden musste.

¹⁰¹Während bei einigen Booten der Geber auf 60 cm Tiefe justiert wurde, war bei anderen Booten 70 cm notwendig. Dies war durch ein unterschiedliches hohes Freibord der Boote bedingt.



Abbildung 4.2: Befestigung des Sonars am Bug des Bootes

4.5 Einrichtung zusätzlicher Flusspegel und Einmessung aller Pegel

Um die mit dem Sonar gemessenen Tiefen in ein geodätisches Referenzsystem einbinden zu können, muss die Höhe des Wasserspiegels zum Zeitpunkt der Messungen bekannt sein. Gleichzeitig muss die Höhe des Wasserspiegels in Bezug zu einem geodätischen Referenzsystem gesetzt werden. Dazu können die in Kapitel 3.5.1.2 genannten und in Abbildung 3.9 aufgeführten, vorhandenen Messpegel auf der Flussstrecke zwischen dem Goldenen Dreieck und Chiang Khong benutzt werden.¹⁰² Da die beiden Pegel Sop Kok und Chiang Khong mehr als 50 km weit auseinander liegen und der Fluss unterschiedliche Charakteristika in diesem Abschnitt vorweist, wurden im Rahmen dieser Arbeit auf diesem Flussabschnitt weitere Pegel eingerichtet, um so eine höhere Genauigkeit der Messungen zu erhalten. Dazu wurde versucht, den Flussabschnitt zwischen Sop Ruak und Chiang Khong durch vier zusätzlichen Pegel in fünf etwa gleich große Abschnitte zu unterteilen. Allerdings limitierten Zugänglichkeit des Ufers, sowie die Ufertopographie geeignete Optionen. Insbesondere im zweiten Teilabschnitt gestaltete sich die Suche nach geeigneten Stellen wegen der Unzugänglichkeit des Geländes als schwierig. Schließlich wurden geeignete Standorte für die neuen Pegel gefunden, auch wenn die Flussabschnitte leicht unterschiedliche Längen haben. Die neuen Pegel wurden nach den Orten benannt, in deren Nähe sie installiert wurden: Pong Khong, Had Bai, Tha Hin und Gaeng Gai. In Tabelle 4.1 sind Informationen zu den Pegeln zusammengefasst und in Abbildung 4.3 ist die Lage aller Pegel gegeben.

¹⁰²Pegel Sop Ruak, Pegel Chiang Saen, Pegel Sop Kok und Pegel Chiang Khong.

Tabelle 4.1: Pegelstation

Pegel [-]	Pegelart [-]	Installation [-]	Kilometrierung [km]	Abstände [km]
Sop Ruak	senkrechte Pegellatte	vorhanden	0,71	8,58
Chiang Saen	geneigte Pegellatte	vorhanden	9,29	7,83
Sop Kok	senkrechte Pegellatte	vorhanden	17,12	13,61
Pong Khong	geneigte Pegellatte	neu	30,73	8,76
Had Bai	geneigte Pegellatte	neu	39,49	12,50
Tha Hin	senkrechte Pegellatte	neu	51,99	8,24
Gaeng Gai	senkrechte Pegellatte	neu	60,23	8,08
Chiang Khong	geneigte Pegellatte	vorhanden	68,31	

Für die bereits installierten Pegel der Wasserbehörde gab es Angaben zu den Referenzhöhen. Für die vier neu eingerichteten Pegel war es notwendig, eine Höhenreferenzierung durchzuführen. Um Ungenauigkeiten in der Bathymetrischen Karte zu vermeiden, wurden alle acht Pegel mit Hilfe eines statischen GPS der Firma Topcon mit Referenz zu dem vorhandenen lokalen Vermessungsnetz neu eingemessen. Diese Vermessung wurde ausschließlich für diese Dissertation von einem Vermesserteam der Verwaltungsbehörde der Provinz Chiang Mai¹⁰³ durchgeführt.

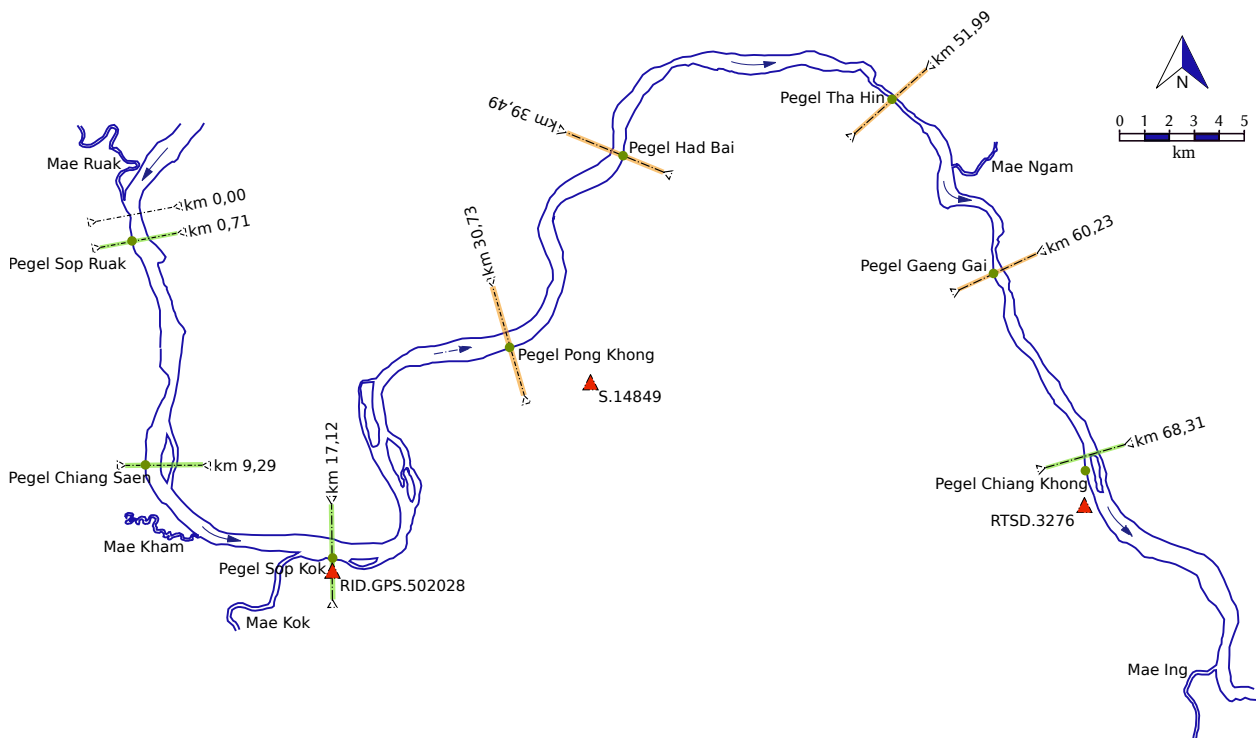


Abbildung 4.3: Lage der Pegel

Bei den Vermessungen zeigten sich Abweichungen zu den bekannten Höhen der vier fest installierten Pegel im Dezimeterbereich. Diese Abweichungen können dadurch bedingt sein, dass die Einmessung der bereits installierten Pegel zum Teil sehr lange zurückliegt und es im Uferbereich Setzungen gab, oder es

¹⁰³Chiang Mai Provincial Administrative Organization

wurden eventuell unterschiedliche Referenzpunkte zur Einmessung verwendet. Bedingt durch zwei geologische Verwerfungszonen, die Mae Chan Verwerfung und die Mae Ing Verwerfung, gibt es darüberhinaus im Projektgebiet häufige kleinere Erdbeben. In der geologischen Karte von Baum u. a. [1970] werden kleinere Verwerfungszonen direkt im Projektgebiet zwischen Chiang Saen und Chiang Khong ausgewiesen. Dies kann eine weitere mögliche Ursache sein dafür, dass die Messungen nicht übereinstimmen. Damit die ermittelten Flussbettdaten der einzelnen Abschnitte zueinander konsistent sind, wurden die Referenzhöhen aller Pegel aus den eigenen Vermessungen als Grundlage genommen.

4.6 Durchführung der Sonarmessungen

Die ersten Querprofile wurden während der Trockenzeit im Frühjahr 2009 für die Flussabschnitte zwischen den Pegeln Sop Ruak, Chiang Saen und Sop Kok aufgenommen. Bei diesen Messungen wurden die Querprofile während der Fahrt stromabwärts aufgenommen. Dadurch war es in Bereichen mit starker Strömung sehr schwierig und zum Teil gar unmöglich, das Boot senkrecht zum Ufer zu steuern. Die Messungen zur Erstellung der Bathymetrischen Karte wurden während der Monsunzeit im Herbst 2010 in den Monaten August und September durchgeführt. Hier kam die verbesserte Haltevorrichtung für das Sonar zum Einsatz und die Querprofile wurden bei der Fahrt stromaufwärts gemessen. Dadurch wurden deutlich bessere Ergebnisse erzielt, insbesondere in den Bereichen mit starker Strömung. In den Abbildungen 4.4 und 4.5 ist der Unterschied auch in einem Flussbereich mit weniger starker Strömung gut zu erkennen. Auch deutlich erkennbar ist der erheblich breitere Messbereich in Abbildung 4.5, der durch den viel höheren Wasserspiegel des Flusses während der Monsunzeit bedingt ist.

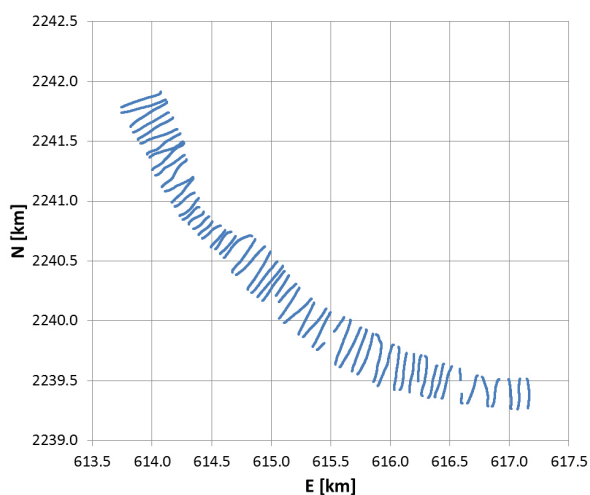


Abbildung 4.4: Messungen im Frühjahr 2009 (Trockenzeit)

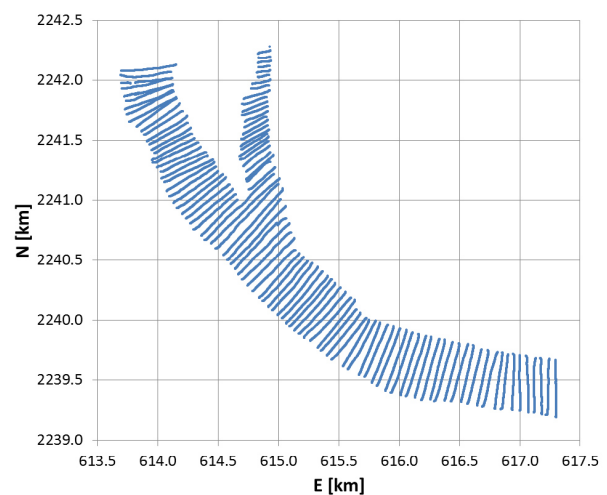


Abbildung 4.5: Messungen im Herbst 2010 (Monsunzeit)

Die Querprofile wurden in einem Abstand von 50 m aufgenommen. Dazu wurde ein GPS-Handempfänger der Firma Garmin¹⁰⁴ benutzt, mit dem die Entfernung zwischen den beiden Wenden am Ufer nach einem abgeschlossenen Querprofil gemessen wurde. Außerdem wurde die Anzeige auf dem Monitor des Humminbirds benutzt, um parallele bzw. in den Kurven entsprechend verdrehte Querprofile zu erreichen, die

¹⁰⁴Garmin GPSmap 60CSx

senkrecht zur Fließrichtung des Flusses sind. Der Abstand von 50 m zwischen den Querprofilen wurde gewählt, um eine gute Genauigkeit für das Modell mit einem vertretbaren Aufwand zu erhalten.



Abbildung 4.6: Anzeige auf dem Monitor des Gerätes bei Aufnahme der Querprofile

Die Messungen wurden während der Regenzeit durchgeführt, um durch die hohen Wasserstände einen möglichst breiten Bereich des Flusses abdecken zu können. Während Regenereignissen kam es meist zu einer starken Wellenbildung auf dem Fluss, die eine Unterbrechung der Messungen erforderlich machte, da ansonsten die Messwerte verfälscht und zum Beispiel Riffel auf der Flusssohle zeigen würden. Während der Messungen wurde der Wasserstand der beiden für diesen Abschnitt relevanten Pegel stündlich abgelesen. Die Durchführung der Sonarmessungen für einen Flussabschnitt zwischen zwei Pegeln dauerte durchschnittlich zwei bis drei Tage.

Insgesamt wurden 1 710 Querprofile aufgenommen, davon 1 494 im Hauptstrombereich und 216 Querprofile im Bereich von Nebenarmen. Bei einer Gesamtlänge des Flussabschnittes vom Goldenen Dreieck bis Chiang Khong von 68,31 km (vergleiche Kapitel 4.3), beträgt der durchschnittliche Abstand zwischen den Querprofilen 46 m.

4.7 Aufbereitung der Rohdaten

Die vom Sonargerät auf einer MMC/SD Karte gespeicherten Daten können nicht ohne weiteres von anderen Programmen verarbeitet werden. Daher wurden die Daten mit dem Programm HumViewer¹⁰⁵ ausgelesen und im CSV Datenformat¹⁰⁶ gespeichert. Damit konnten die Werte, nach einer Koordinatentransformation in das globale Koordinatensystem UTM,¹⁰⁷ mit weiteren Programmen bearbeitet und ausgewertet werden.

¹⁰⁵Programmautor Martin Johansen

¹⁰⁶Comma-separated Value

¹⁰⁷Universal Transverse Mercator

Problematisch gestaltete sich die Messung der Sohlhöhen in Bereichen mit Bewuchs auf der Flusssohle. Dies zeigte sich bereits während der Durchführung des Messprogramms und bestätigte sich bei der Aufbereitung der Rohdaten. Da die Schallwellen des Sonargerätes vom Bewuchs reflektiert werden, kann die tatsächliche Sohlenlage nur ungenügend genau gemessen werden. Hier ist es notwendig, die Messwerte mit dem vom Sonargerät aufgezeichneten Bodenprofil zu vergleichen und offensichtlich falsche Werte manuell zu korrigieren. Ähnliches gilt für die Flachwasserbereiche bis zu einer Tiefe von 50 cm. Hier zeigte das Sonar nur überwiegend korrekte Werte an, nicht plausible Messwerte mussten manuell korrigiert werden. Ursache hierfür sind die in Kapitel 4.3 erwähnten Mehrfachreflektionen der Echos zwischen Wasseroberfläche und Flusssohle. Für Bereiche, die tiefer als 50 cm sind, wurden durchgängig schlüssige Werte gemessen. Diese Beobachtungen wurden auch von Swinson [2012] bei Versuchen zur Feststellung der Genauigkeit zum Einsatz von Sonargeräten in der Flussbettvermessung gemacht. Auch wenn von Swinson [2012] Geräte von anderen Geräteherstellern untersucht wurden und die Messungen auf einem sehr kleinen Fluss durchgeführt wurden (Flussbreite 25 m und Tiefe bis 1,5 m), so sind die Ergebnisse für die Bewertung der Genauigkeit der Messwerte im vertikalen Bereich auch für die Messungen auf dem Mekong interessant. Von Swinson wurden manuelle Querprofilmessungen mit Nivellierseil und Messlate durchgeführt und anschließend die selben Profile mit einem Sonargerät erneut gemessen. Dabei wurden in den flachen Bereichen deutlich ungenauere Ergebnisse erzielt.¹⁰⁸

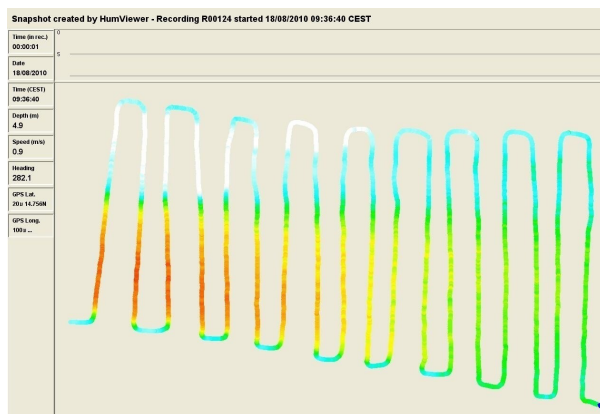


Abbildung 4.7: Nachbearbeitung Draufsicht

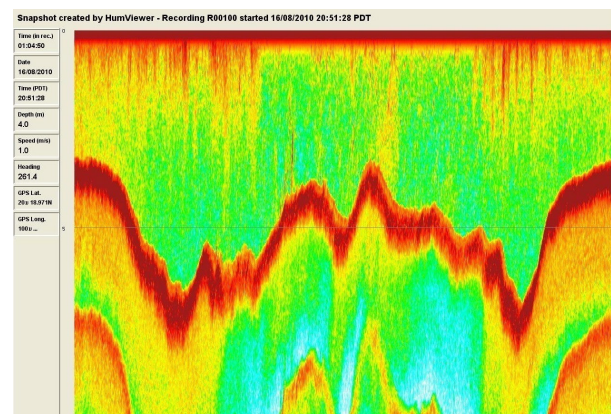


Abbildung 4.8: Nachbearbeitung Schnitt

Bei den Sonarmessungen im Mekong konnten durch eine Plausibilitätsanalyse, unter Zuhilfenahme der vom Sonargerät dargestellten Beschaffenheit der Flusssohle,¹⁰⁹ die fehlerbehafteten Messwerte gut identifiziert werden. Mit Hilfe dieser Aufzeichnungen wurden die gesamten Messwerte überprüft und an den flachen Stellen und bewachsenen Sohlenbereichen bei Bedarf korrigiert. Bei den insgesamt 1 710 Profilen und 303 374 Einzelwerten (pro Sekunde eine Peilung, d.h. bei 5 km/h Bootsgeschwindigkeit alle 1,4 m ein Messwert), war dies insgesamt ein sehr zeitaufwendiger Prozess. Die durchschnittliche Anzahl der Messfehler des Sonargerätes lag bei 2,16 Prozent (siehe hierzu Tabelle 4.2).

¹⁰⁸In Bereichen tiefer als 50 cm lag die Standardabweichung bei Werten zwischen 1 - 6 cm, für die Bereiche flacher als 50 cm bewegte sich die Standardabweichung zwischen 1 - 26 cm.

¹⁰⁹Durch die sogenannte Switchfire Technologie von Humminbird werden die Sohlenstruktur und Turbulenzen im Wasser unter Angabe der Wassertiefe dargestellt.

Tabelle 4.2: Auswertung der Sonarmesswerte

Aufgenommene Profile [-]	Gesamtanzahl Messwerte [-]	Fehlerbehaftete Messwerte [-]	Fehlerbehaftete Messwerte [%]
1 710	305 374	6 587	2,16

Da das Boot nicht immer mit derselben, konstanten Geschwindigkeit fahren konnte, ist eine Korrektur der gemessenen Tiefenwerte erforderlich. Dies war insbesondere bei starker Strömung und beim Wenden des Bootes am Ende und Beginn des Querprofils der Fall. Bei hohen Geschwindigkeiten hebt sich der Bug des Bootes und dadurch verringert sich die Eintauchtiefe der Geberstange. Das Humminbird misst die tatsächliche Bootsgeschwindigkeit mit dem GPS und speichert sie. Daher ist für jeden einzelnen Tiefenmesswert die zugehörige Geschwindigkeit des Bootes bekannt. Die zum Wasserspiegel relative Geschwindigkeit ist aber eine andere, abhängig davon, ob das Boot stromabwärts, stromaufwärts oder senkrecht zur Uferlinie fährt. Um die Abhängigkeit der Eintauchtiefe von der Bootsgeschwindigkeit zu ermitteln, wurde die Geberstange mit Markierungen versehen und Bootsfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchgeführt. Die aktuelle Geschwindigkeit wird vom Sonargerät angezeigt und konnte daher direkt abgelesen werden. Diese Messfahrten wurden sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts durchgeführt und die Geberstange dabei bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten photographiert. Die Messungen wurden anschließend unter Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit des Flusses ausgewertet und ergaben die in Abbildung 4.9 dargestellten Messpunkte. Dabei lässt sich die Eintauchtiefe H_G (in cm) in Abhängigkeit zur Geschwindigkeit des Bootes v_B (in km/h) näherungsweise mit der folgenden Formel beschreiben:

$$H_G = \frac{4,8}{0,16 + 5,84 \cdot \exp(-0,36 \cdot v_B)} - 0,8 \quad (4.1)$$

Diese Formel wurde auf alle Messwerte zur Korrektur angewendet. Bei der Annahme der Geschwindigkeit wurde auch berücksichtigt, dass das Boot bei der Messung der Querprofile quer zur Fließrichtung ausgerichtet war.

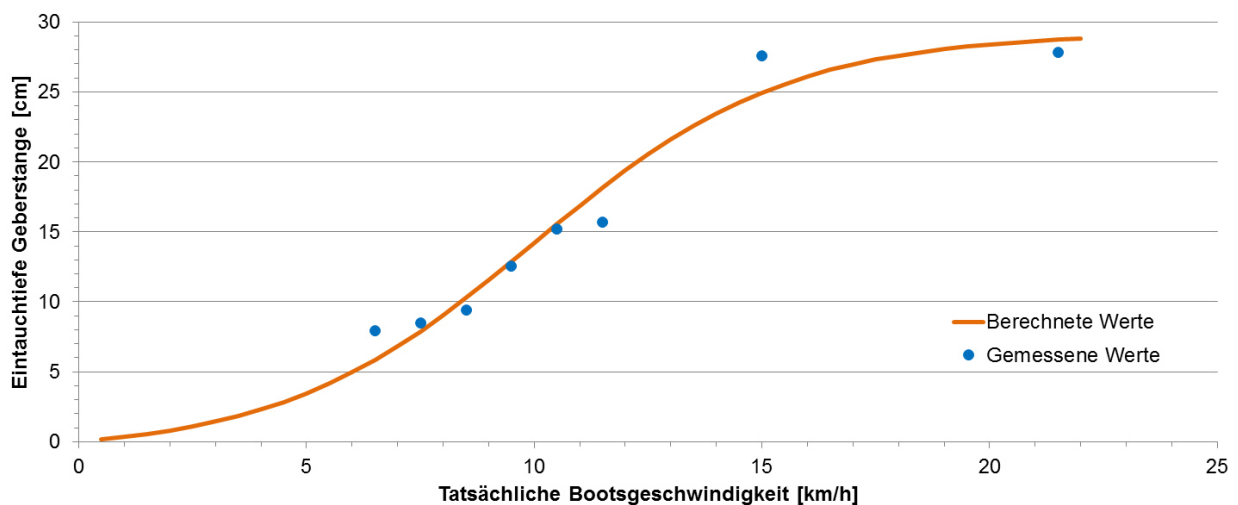


Abbildung 4.9: Eintauchtiefe der Geberstange in Abhängigkeit zur Bootsgeschwindigkeit

4.8 Messung des Wasserspiegels an allen Pegelstationen

Wie in Kapitel 4.6 erwähnt, wurde während der Messungen auf dem Fluss der Wasserstand stündlich an den beiden Pegeln abgelesen, zwischen denen die Messungen durchgeführt wurden. Da bei den Messdaten des Sonargerätes auch die Uhrzeit für jeden gespeicherten Tiefenwert angegeben ist, konnte damit der Wasserspiegel, abhängig von der Uhrzeit, ermittelt werden. Durch Zusammenführung der gemessenen Wassertiefe, des abgelesenen Wasserstandes und der bekannten absoluten Höhe des Pegels, konnte die Sohlenhöhe berechnet werden.

An zwei Tagen (30. September 2010 und 7. Dezember 2011), wurde an allen acht Pegeln gleichzeitig der Wasserstand abgelesen und damit eine Wasserspiegellinie erstellt. Das Gefälle liegt zwischen 0,16 Promille und 0,46 Promille. Der kleinste Wert wurde für den Abschnitt Gaeng Gai - Chiang Khong gemessen, der höchste für den Abschnitt Had Bai - Tha Hin. Die Notwendigkeit, zusätzliche Pegel zu den bestehenden Pegeln einzurichten, bestätigte sich somit. Das durchschnittliche Wasserspiegelgefälle zwischen Sop Ruak und Chiang Khong lag bei 0,24 Promille (September 2010), bzw. bei 0,26 Promille (Dezember 2011). In Abbildung 4.10 wurde für diese beiden Tage die Wasserspiegellinie dargestellt.

Da auch innerhalb eines Flussabschnittes das Gefälle nicht konstant ist, wurden die Abschnitte diesbezüglich untersucht. Für die Abschnitte zwischen Sop Ruak bis Had Bai ist das Wasserspiegelgefälle innerhalb der Abschnitte etwa konstant, da hier kaum felsige Flussabschnitte vorliegen. Anders stellt sich dies bei den Abschnitten zwischen Had Bai und Chiang Khong dar. Daher wurde zur Berechnung der Sohlhöhen für den Abschnitt Had Bai - Tha Hin zusätzlich berücksichtigt, dass der Mekong im Bereich vor dem Pegel Tha Hin ein größeres Gefälle aufweist. Für den Abschnitt Tha Hin - Gaeng Gai weist der Fluss im Anfangs- und Endbereich höhere Gefälle auf als im mittleren Bereich. Im Abschnitt Gaeng Gai - Chiang Khong hat das erste Drittel ein höheres Gefälle.

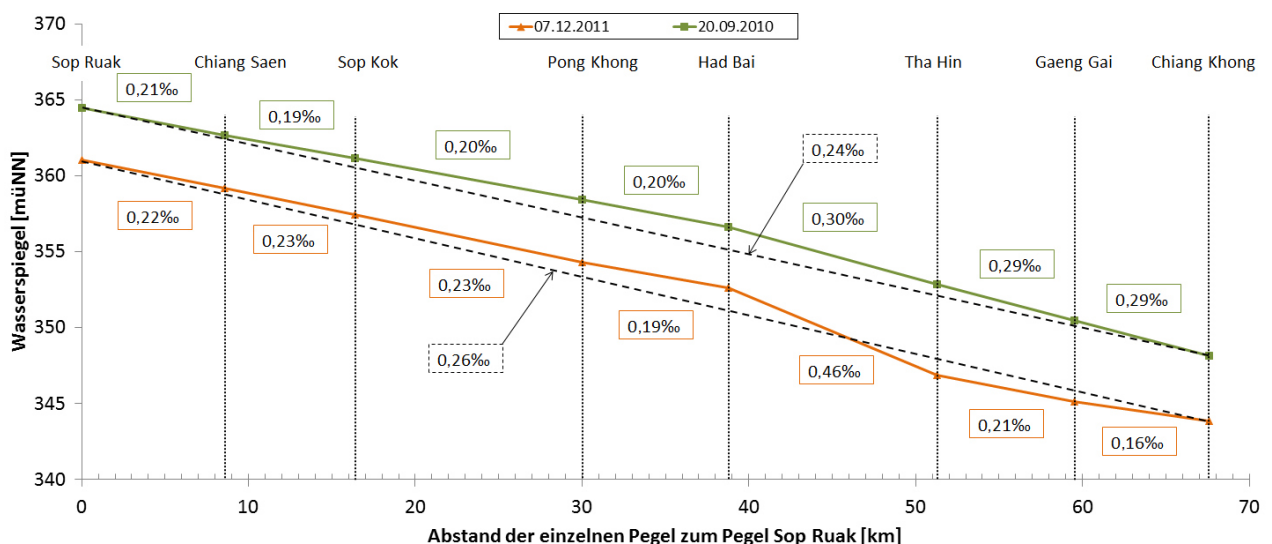


Abbildung 4.10: Wasserspiegellinie Sop Ruak - Chiang Khong an zwei unterschiedlichen Messtagen

4.9 Umlegen der Kanten

Die Querprofile aus der Vermessung wurden, zusammen mit den topographischen Rasterdaten,¹¹⁰ im Programm SMS 12.0. von der Firma Aquaveo zusammengeführt und es wurde ein temporäres Gitternetz generiert. Dabei war eine manuelle Nachbearbeitung des Gitternetzes durch Umlegen der Kanten notwendig, siehe hierzu die Abbildungen 4.11 und 4.12. Diese Korrekturen waren vor allem im Uferbereich, den felsigen Flussbereichen, sowie in den Bereichen notwendig, in denen aufgrund der starken Strömung das Boot nicht senkrecht zum Ufer gesteuert werden konnte.

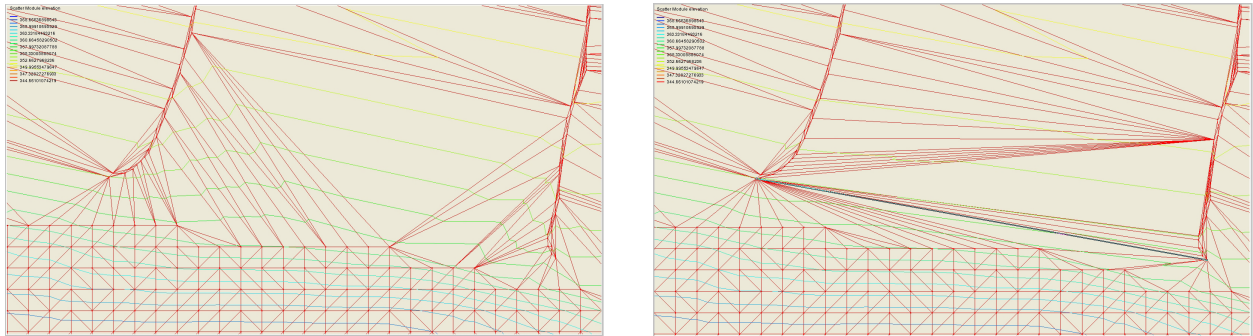


Abbildung 4.11: Vor (links) und nach Umlegen der Kanten (rechts)

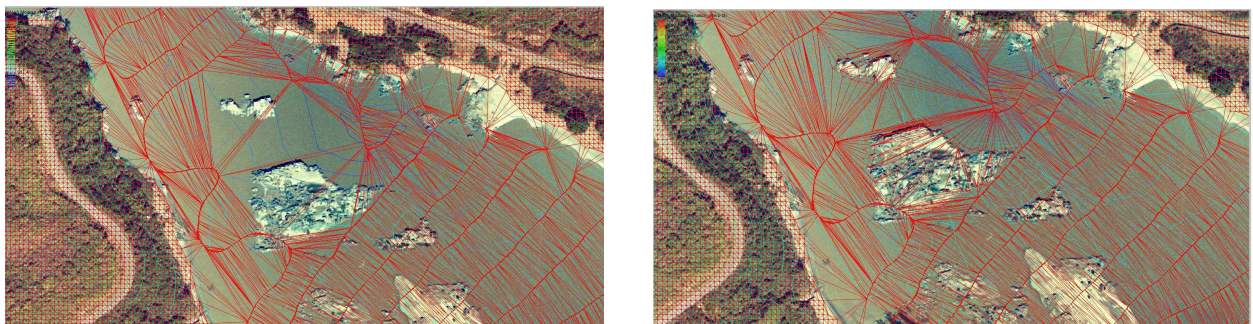


Abbildung 4.12: Ursprünglich (links) und nach Umlegen der Kanten sowie Korrektur der Höhen im Bereich der Felsen(rechts)

4.10 Analyse der erzeugten bathymetrischen Flusskarte

4.10.1 Darstellung der Uferbereiche

Die Sonarmessungen wurden während der Monsunzeit durchgeführt, wodurch es möglich war die Messungen bis dicht an die Ufer durchzuführen und damit den größten Teil des Flussbettes zu vermessen. Aus technischen Gründen war es nicht möglich mit dem Boot bis direkt an das Ufer zu fahren, daher konnten für den direkten Uferbereich keine Messwerte gewonnen werden. Der Übergang vom Ufer zur Flusssohle ist jedoch für die Erstellung einer genauen bathymetrischen Karte und auch insbesondere für die Simulationen von Wichtigkeit. Daher wurden vorhandene digitale topographische Datensätze, mit den Sonardaten

¹¹⁰Das digitale Geländeerhebungsdaten (DTED) basiert auf Luftbildaufnahmen von 2002 und hat eine Datenauflösung von 1 Bogensekunde (arc second) bzw. 30x30 m.

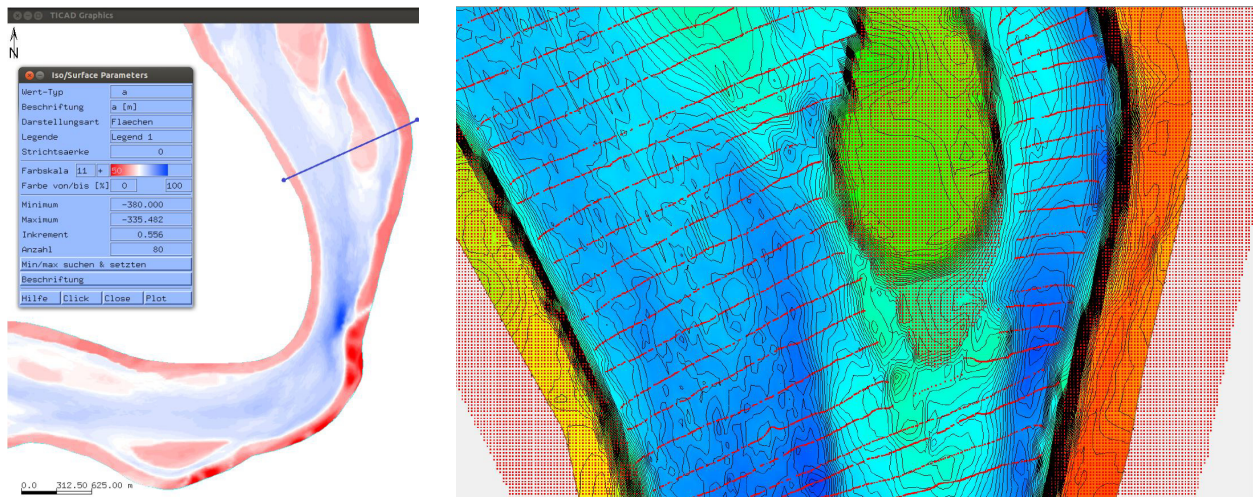


Abbildung 4.13: Einfügen der Querprofile in vorhandene Topographiekacheln

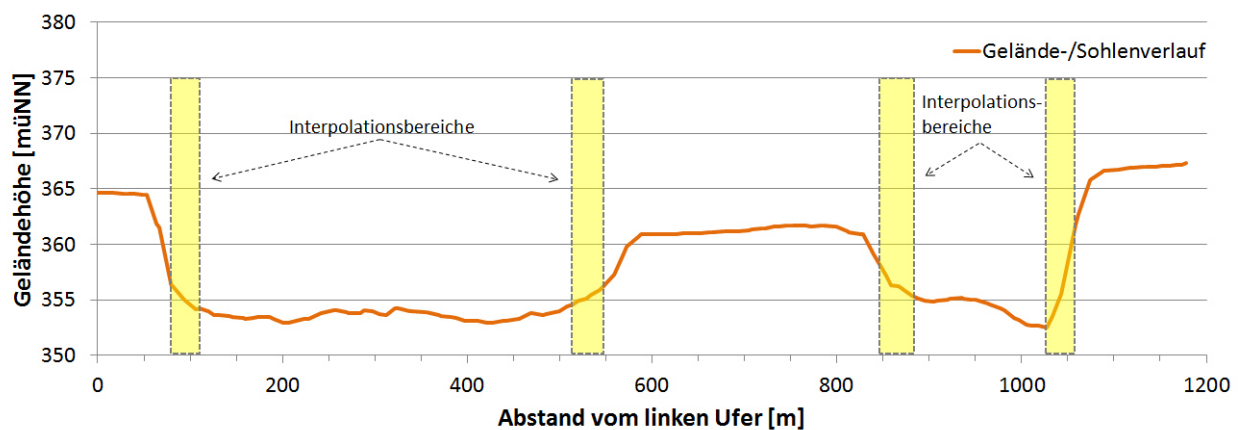


Abbildung 4.14: Interpolationsbereiche bei den Uferbereichen

aus der Vermessung kombiniert (Kapitel 4.9). Dazu wurden die Flussbereiche aus den topographischen Datensätzen entfernt. Diese ließen sich einfach identifizieren, da im Flussbereich die Höhe der Wasseroberfläche jeweils konstant war. Anschließend wurden die gemessenen Querprofile eingefügt. Durch diese Vorgehensweise wurden für die Übergangsbereiche sehr gute und plausible Ergebnisse erhalten. In den Abbildungen 4.13 und 4.14 sind die Ergebnisse für diese Vorgehensweise für einen Flussabschnitt dargestellt.

4.10.2 Alluviale Flussabschnitte

Im Bereich der alluvialen Flussabschnitte bildet die erzeugte Flusskarte das Flussbett gut ab. Der Verlauf der Höhenlinien ist im gesamten Flussabschnitt stimmig. Die Uferbereiche werden gut dargestellt.

4.10.3 Felsige Flussabschnitte

Bei den felsigen Flussabschnitten wird die Beschränkung der Leistungsfähigkeit des verwendeten Sonargerätes deutlich. Dadurch, dass die Querprofile in einem Abstand von fünfzig Meter aufgenommen wurden,

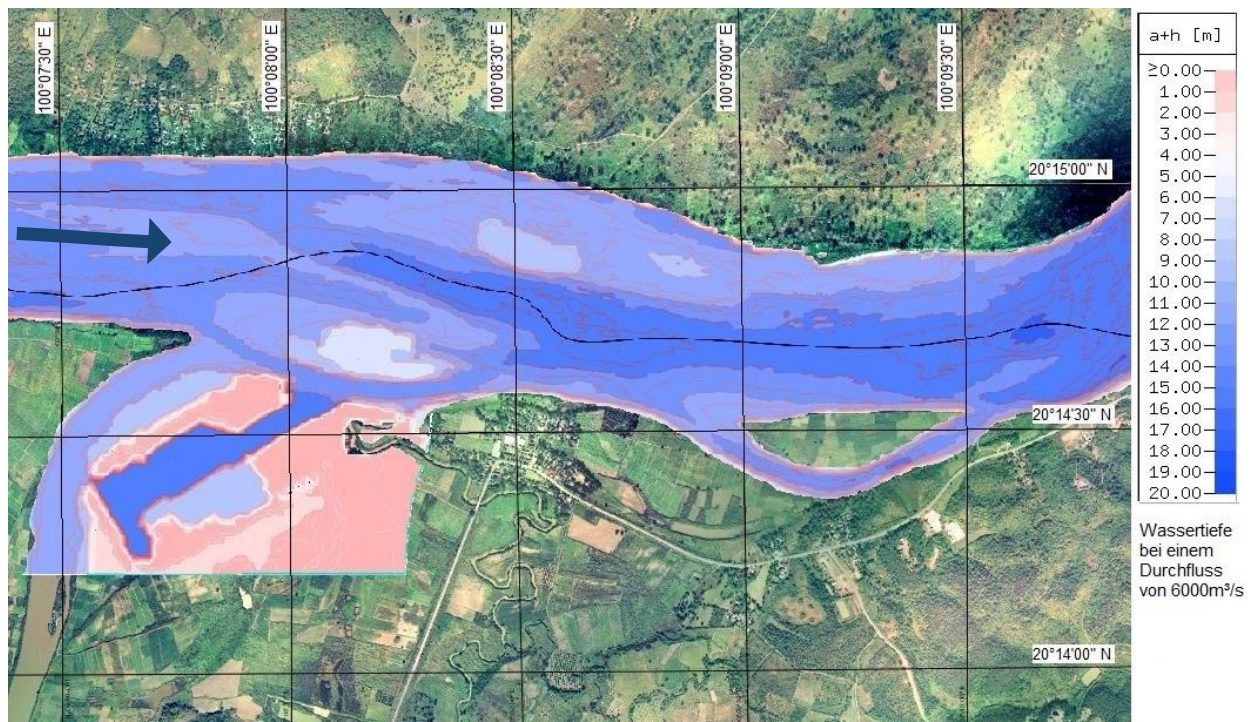


Abbildung 4.15: Flusstiefen und tiefste Linie beim Hafen Chiang Saen II (bei $Q=6\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

konnten einzelne Felsen nicht in der Vermessung erfasst und daher auch nicht in der Flusskarte dargestellt werden. Durch die zum Teil starken Strömungen konnte in wenigen Fällen die Vermessung auch nicht geradlinig durchgeführt werden. Daher ist die Flusskarte in den felsigen Bereich lückenhaft. Die Vermessung der felsigen Bereiche mit einem luftgestützten Laserscanner (ALB) könnte hier erheblich bessere Ergebnisse liefern (siehe Kapitel 4.1).

4.10.4 Pools

Während der Vermessung wurden mehrere sehr tiefe Bereiche im Flusslauf identifiziert. Hierbei handelt es sich um sogenannte tiefe Pools.¹¹¹ Nach Poulsen u. Valbo-Jorgensen [2001] ist ein tiefer Pool ein begrenzter, relativ tiefer Bereich in einem Fluss, welcher in der Trockenzeit als Zufluchtsort für eine Reihe wichtiger Fischarten und als permanentes Habitat für weitere Arten dient. Bereits die französische Mekongexpedition (siehe Kapitel 2.1.2.1) berichtet von diesen Pools.¹¹² Nach Halls u. a. [2013] können sechs Arten von tiefen Pools unterschieden werden: Pools in mäandernden Flusskurven, in geraden Abschnitten von alluvialen Flussbereichen, bei durch die Topographie am Ufer vorgegebenen Engstellen, Engstellen in felsigen Flussabschnitten, nach Flussinseln und bei Zuflüssen.

¹¹¹In der englischen Sprache werden sie als 'Deep Pools' bezeichnet.

¹¹²“In the center, a narrow channel, a sort of canal, the width of which is sometimes as little as forty meters but the depth of which is more than a hundred meters, contains all the waters of the river, which impetuously gushes between two perpendicular rock walls. With a few rare interruptions, this is the appearance presented by the Mekong up to the point where we were forced to leave its banks, and it most probably keeps this appearance right up to Tibet.” (S. 269); “On the next day, 5 April (1868), we quite easily covered some ten kilometers between two banks that gradually closed in. The river narrowed to a width of some one hundred meter, while the sounding-line showed sixty meter depth.” (S. 270) in Garnier [1872].

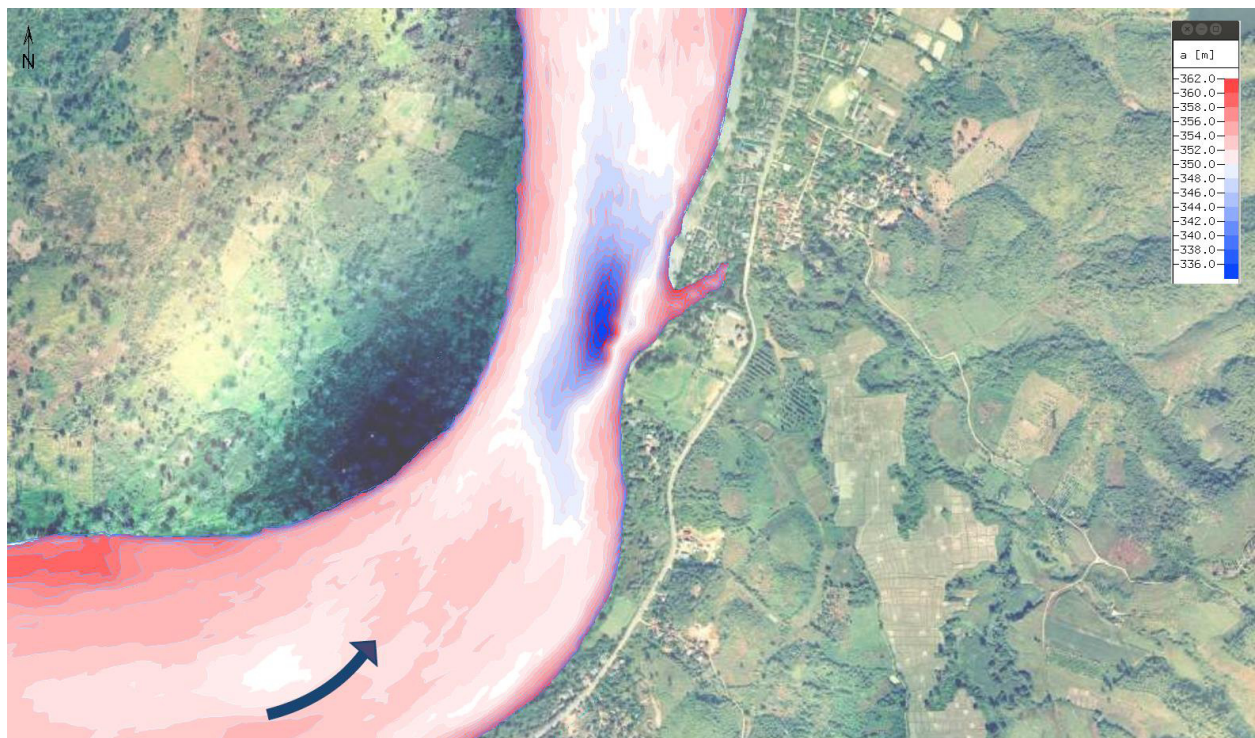


Abbildung 4.16: Pool im Mekong bei Ban Saeo

Im Jahr 2013 wurde von der Mekong Kommission eine Übersicht über alle tiefen Pools im Mekong in Halls u. a. [2013] erstellt. Danach befinden sich die tiefsten Pools im Flussabschnitt Chiang Khong/Houy Xai bis Vientiane und in zwei weiteren Abschnitten weiter flussabwärts, bei den Flussabschnitten Mukdahan - Pakse und Stung Treng - Kratie. Bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Sonarmessungen wurde der tiefste Pool mit einer Tiefe von über 50 m im Flussabschnitt zwischen Sop Ruak und Chiang Khong gemessen (siehe auch hierzu in Anhang C die Abbildung C.8).

Wie erwähnt, sind die Pools ganz offensichtlich sehr wichtig für den Fischbestand, wie auch in Poulsen u. Valbo-Jorgensen [2001] und Halls u. a. [2013] ausgeführt wird. Demnach stammen 75 % der Fänge, die in Kambodscha mit fest installierten Schleppnetzen erzielt werden, von Fischarten, welche die tiefen Pools als Habitat nutzten. In der Trockenzeit nutzen über 200 Fischarten diese Pools als Rückzugsort, darunter der Mekong-Riesenwels. Viele Fischschutzzonen¹¹³ wurden daher bei den Pools eingerichtet. Selbst von den Menschen, die am Mekong leben und ihren Lebensunterhalt durch Fischerei bestreiten, wurden solche Bereiche als Schutzzonen für die Fische eingerichtet, in denen gar nicht oder nur beschränkt gefischt werden darf. Bei den Sonarmessungen, die im Jahr 2010 in der Trockenzeit durchgeführt wurden, wurden viele Fische in den Pools beobachtet. Bei den im Jahr 2011 während der Monsunzeit durchgeführten Messungen wurden hingegen keine Fische in den Pools beobachtet. Somit konnten die Ausführungen von Poulsen u. Valbo-Jorgensen [2001] und Halls u. a. [2013] durch eigene Beobachtungen bestätigt werden. Die Abbildung 4.16 zeigt einen tiefen Pool bei Ban Saeo im Flussabschnitt Sop Kok - Pong Khong.

¹¹³Fish Conservation Zones (FCZ)

5 Hydro- und Morphodynamische Simulation mit dem numerischen Model TIMOR

5.1 Verfahren zur Beschreibung von hydrodynamischen und morphologischen Vorgängen

Prinzipiell gibt es zur Beschreibung von hydrodynamischen und morphologischen Vorgängen drei verschiedene Ansätze:

- Physikalische Modelle
- Mathematisch-numerische Verfahren
- Empirisch-statistische Methoden

Bei physikalischen Modellen wird der für die Untersuchungen relevante Projektabschnitt im verkleinerten Maßstab dargestellt und die Versuche meist mit Wasser und Sediment, in besonderen Fällen auch mit Luft, durchgeführt. Bei mathematisch-numerischen Modellen wird das Projektgebiet in eine endliche Anzahl von Rechenpunkten unterteilt und mit den Gleichungen, die die hydromorphologischen Vorgänge beschreiben, werden für jeden Rechenpunkt die Veränderungen in den vorgegebenen Zeitschritten und -spannen berechnet. Empirisch-statistische Methoden basieren auf analytischen Gleichungen, die aus Messungen in der Natur und Laboren gewonnen wurden und mit statistischen Methoden verknüpft werden. In (ATV-DVWK [2003]) werden diese unterschiedlichen Ansätze ausführlicher dargestellt. In Rahmen dieser Arbeit wurde zur Beschreibung der hydrodynamischen Vorgänge im untersuchten Abschnitt des Mekong ein mathematisch-numerischer Ansatz gewählt.

5.2 Mathematisch-numerische Modelle

Mathematisch-numerische Modelle werden seit mehr als dreißig Jahren eingesetzt. Durch die enormen Fortschritte bei den Rechnerkapazitäten können die Berechnungen mit immer höherer räumlicher und zeitlicher Diskretisierung durchgeführt werden. Es lassen sich vier verschiedene Arten von mathematisch-numerischen Modellen unterscheiden, die für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden:

- Eindimensionale Modelle (1D)
- Zweidimensionale Modelle (2D)

- Quasi-Dreidimensionale Modelle (2DH, Q3D)
- Dreidimensionale Modelle (3D)

In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von Modellen entwickelt und zur Modellierung von wasserbaulichen Fragestellungen eingesetzt. In Mewis [2002] und in Zhou [2011] wird ein Überblick über die weltweit im Einsatz befindlichen Modelle gegeben.

Am Institut für Wasserbau der Technischen Universität Darmstadt stand das von Zanke [1994] entwickelte quasi-dreidimensionale Programm Timor3¹¹⁴ zur Verfügung. Dieses basiert auf dem zweidimensionalen Modell Timor2, welches wiederum auf dem Modell TICAD II (Zanke [1995]) basiert. Bei Timor3 wird die Topographie durch Dreiecksnetze abgebildet und die Strömungen werden zweidimensional instationär mit einem auf der Bubble-Technology basierenden Finite-Element-Ansatz berechnet (Zanke u. Mewis [2002]). Der auf der Bubble-Technology basierende Ansatz wurde von Mewis u. Holz [1993] entwickelt.

Für die hydrodynamischen und morphodynamischen Untersuchung in dieser Arbeit wurde das seit seiner Entstehung ständig weiterentwickelte Programm Timor3 in der Version timor3Vcheck eingesetzt.

5.3 Vorbemerkungen zu dem Programm TIMOR

Das Programm Timor3 wird seit über 20 Jahren eingesetzt und die Funktionsweise des Programmes wurde daher bereits in einer Vielzahl von Veröffentlichungen dargestellt. Es sei hier insbesondere auf die Veröffentlichungen Zanke [1995], Zanke u. Mewis [2002], Zanke [2003] und Zanke [2004] verwiesen. Im Folgenden wird daher nur eine kurze Einführung in die Morphodynamik und das Programm gegeben, die zum Verständnis der weiteren Vorgehensweise dieser Arbeit unabdingbar ist und den vorgehend genannten Quellen entnommen ist.

5.3.1 Bodenevolutionsgleichung

Für morphodynamische Prozesse dient als Grundlage zur Bilanzierung die Bodenevolutionsgleichung (Gleichung 5.1). Abhängig vom Ergebnis der Bilanzierung tritt Erosion, Stagnation oder Auflandung ein.

$$\frac{\delta z}{\delta t} = \frac{\delta q_{tx}}{\delta x} + \frac{\delta q_{ty}}{\delta y} + E - S \quad (5.1)$$

mit z als der Höhenlage des Bodens; mit q_{tx} transportiertes Volumen je Zeit- und Breitereinheit (inklusive Hohlräumen) in x -Richtung; q_{ty} transportiertes Volumen je Zeit- und Breitereinheit (inklusive Hohlräumen) in y -Richtung; Entrainment E ; Ausfällung S .

¹¹⁴Tide Morphodynamisches 3-D Model

5.3.2 Transportgleichungen für Geschiebe

Zur Berechnung des transportierten Volumens q_t in der Gleichung (5.1) werden Transportgleichungen für die Berechnung der bodennahen Geschiebetransporte verwendet. Im Programm Timor sind die gängigsten Transportgleichungen implementiert worden:

- Meyer-Peter und Müller (1948)
- Engelund und Hansen (1967)
- Acker und White (1973)
- van Rijn (1984)
- Zanke (1990)

Mit welcher der Formeln die Berechnung durchgeführt werden soll, wird vom Benutzer des Programmes vor dem Start der Berechnungen vorgegeben. Für die Berechnungen im Rahmen dieser Arbeit wurde die Formel von Meyer-Peter und Müller (MPM) verwendet die in Gleichung (5.2) gezeigt ist und aufgrund ihrer guten Ergebnisse, sowie des vergleichsweise geringen Berechnungsaufwandes geschätzt wird:

$$G^* = 8 \left(1 - \frac{0,047}{Fr^*} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (5.2)$$

mit der dimensionslosen Transportgröße G^* ; und der FROUDE-Zahl des Kornes Fr^* .

G^* lässt sich mit folgender Gleichung 5.3 und Fr^* nach Gleichung 5.4 berechnen:

$$G^* = q_{tx,ty} \frac{\rho' g}{u^{*3}} \quad (5.3)$$

$$Fr^* = \frac{u^{*2}}{\rho' g d} \quad (5.4)$$

mit $q_{tx,ty}$ als transportiertes Volumen (inklusive Hohlräumen) je Zeit und Breitereinheit in x-Richtung und y-Richtung; mit der relativen Dichte ρ' die sich aus der Dichte des Sediments ρ'_s und des Wassers ρ'_w als $\rho' = (\rho'_s - \rho'_w)/\rho'_w$ berechnet; mit g als der Erdbeschleunigung; und mit u^* als die Schubspannungsgeschwindigkeit.

5.3.3 Suspension, Sedimentdispersion und Hangabwärtstrieb

Das Programm Timor berücksichtigt mit Aufwirbelungs - und Absetzansätzen auch den Suspensionstransport. Dazu werden unterschiedliche Ansätze für rolliges und bindiges Sediment berücksichtigt.

Ebenso beachtet werden horizontale und vertikale Dispersionen des in Suspension transportierten Sediments. Im Fließgewässer vorkommende Wirbelstrukturen werden mit einem parametrischen Ansatz berechnet.

Geneigte Sohlen, insbesondere in Flusskurven, Buhnen und Pfeilern haben einen Einfluss auf die Ablageungsvorgänge der Sedimente und werden daher von Timor auch bei den Berechnungen berücksichtigt.

5.3.4 Bodenmodell (Fraktionierter Transport)

Das Programm Timor3 bildet den Untergrund durch n Bodenschichten variabler Stärke und m Siebe (Körnungen) je Rechenknoten und Schicht dreidimensional ab. Die Anzahl von n und m ist frei wählbar, jedoch durch die Rechenleistung des benutzten Computers begrenzt. In Abbildung 5.1 ist exemplarisch eine Elementgruppe (Ausschnitt aus einem Finite-Elemente-Gesamtnetz) schematisch dargestellt.

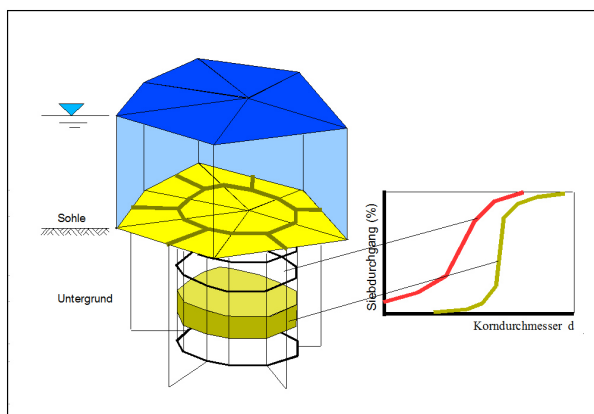


Abbildung 5.1: Dreidimensional in Schichten und Fraktionen aufgelöster Modellboden (Abbildung ist Zanke [2004] entnommen)

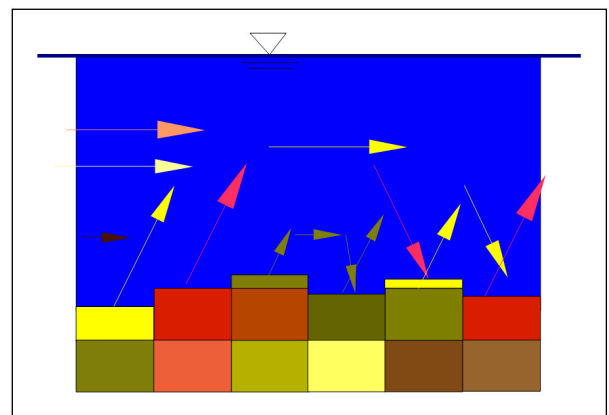


Abbildung 5.2: Schematische Darstellung des Bodenmodells (Abbildung ist Zanke [2004] entnommen)

Neben der Wasseroberfläche erkennt man in der Abbildung die momentane Sohle und unter dieser einige Bodenschichten, deren Schichtstärke bei ausreichender Rechnerkapazität bis hinunter zu einer Korngröße definierbar ist. Dabei wird die Bodenevolutionsgleichung (siehe Gleichung (5.1)) für alle Rechenelemente in einer aktiven Mischungsschicht (Schicht an der Bodenoberfläche) für alle Fraktionen des vorgegebenen Korngemisches gelöst. Durch die anschließende Bilanzierung wird die neue Kornmischung berechnet. Die Stärke der aktiven Mischungsschicht variiert örtlich und zeitlich nach den lokalen hydraulisch-morphologischen Erfordernissen, d.h. die Mischungsschicht kann aus mehreren Einzelschichten bestehen. Bei Riffelsohlen erhält beispielsweise die Mischungsschicht die Stärke der Riffelhöhe. Die aktive Mischungsschicht wandert mit der sich verlagernden Bodenoberfläche durch die ortsfesten Schichten und überträgt

die Änderungen der Kornzusammensetzung, die durch ungleichen An- und Abtransport zustande kommen, auf die passiven Schichten. Bei Auflandungen hinterlässt die Mischungsschicht unter sich die momentane Kornzusammensetzung. Auf diese Weise besitzt das Bodenmodell ein Gedächtnis für überdeckte Bodenhorizonte, die ggf. später wieder freigelegt werden können. In der Abbildung 5.2 wird schematisch der Transport- und Mischungsprozess im System von Timor3 dargestellt. Die unterschiedlichen Farben stellen den mittleren Korndurchmesser dar, der sich je Bodenelement aus n Fraktionen ergibt.

5.3.5 Sedimenttransportpfade

Durch den vorgehend beschriebenen fraktionierten Transport können Transportpfade verfolgt werden; möglich ist beispielsweise die Analyse des Verbleibs von vorgespültem Sand. Hierzu werden eines oder mehrere Siebe im Bodenmodell beim Berechnungsanfang als leer vorgegeben. Dann wird zu definierbaren Zeitabschnitten auf beliebige Flächen der Sohle auf diesen Sieben Sediment zugegeben. Durch Verfolgen der Inhalte dieser Siebe können die Transportpfade, sowie der Verbleib von „angefärbten“ Sedimenten im Gesamtgebiet berechnet werden. Durch geeignete Speicherung der Ergebnisse und zugehörige geeignete Auswertesoftware können auch Sedimente lokalisiert werden, die im Zuge der weiteren morphologischen Entwicklung überschüttet worden sind.

5.4 Hydrodynamische Simulation

5.4.1 Erstellen eines Gitternetzes

Als Grundlage für numerische Simulationen von Strömungsvorgängen dienen Gitternetze, die das Untersuchungsgebiet in eine Vielzahl von kleinen Teilgebieten diskretisieren. Für die vorliegende Arbeit wurde ein strukturiertes Gitternetz mit dem Programm SMS 12.0. von der Firma Aquaveo über die gesamte Länge des vermessenen Mekongabschnittes von Ban Sop Ruak (Goldenes Dreieck) bis nach Chiang Khong (siehe hierzu auch Abbildung 4.3) erzeugt.

Die maximale Knotenanzahl ist durch die anschließende Verwendung des Gitternetzes für das Programm Timor3 vorgegeben, da die verwendete Version des Programmes nicht mehr als 200 000 Knoten verarbeiten kann. Die Querprofile im Mekong wurden im Abstand von etwa 50 m aufgenommen (siehe Kapitel 4.6), daher könnte der Abstand der Knoten in Längsrichtung auf 50 m festgelegt werden. Um jedoch eine etwas höhere Diskretisierung des Gitternetzes zu erreichen, wurde der Abstand von 33 m gewählt, dies entspricht vier Knoten je drei Querprofilen. Durch die Begrenzung der maximalen Anzahl der Knoten ist damit die Anzahl der Knoten in Querrichtung zu einem gewissen Maße vorgegeben und wurde mit 83 gewählt. Damit ergeben sich die folgenden Gitternetzkenndaten:

- Knoten: 186 382
- Randknoten: 4 670
- Elemente: 368 092

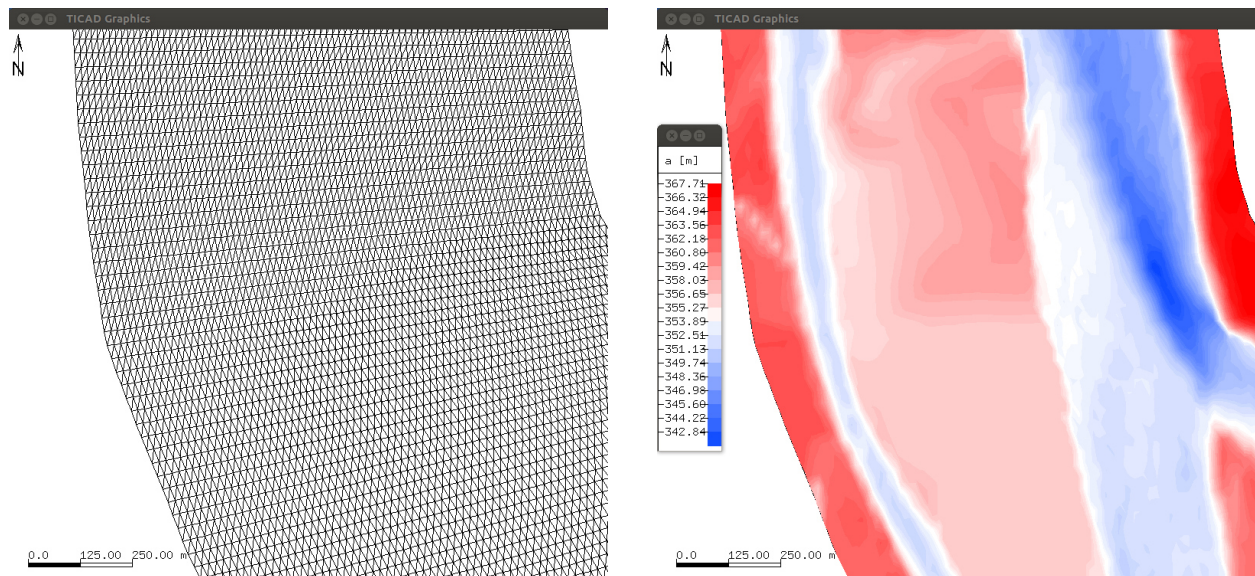


Abbildung 5.3: Gitternetz und Darstellung der Höhen

- Kürzeste Kantenlänge: 5,75 m
- Längste Kantenlänge: 54,02 m

Das generierte Gitternetz wurde über das in Kapitel 4.9 diskutierte, temporäre und manuell korrigierte Gitternetz gelegt und dadurch wurde jedem der 186 382 Knoten eine eindeutige Höhe zugewiesen. Dieses strukturierte Dreiecksgitternetz (siehe Abbildung 5.3) stellt die bathymetrische Karte dar, die für das Programm Timor3 als Simulationsgrundlage verwendet wurde.

5.4.2 Steuerung des Modells

Für den betrachteten Mekongabschnitt liegen die in Kapitel 3.5.1 diskutierten Daten für die Wasserstände und Abflüsse vor. Im Projektgebiet hat der Mekong drei Hauptzuflüsse (siehe hierzu Abbildung 3.2). Dies sind vom rechtseitigen, thailändischen, Ufer der Mae Kham und der Mae Kok, sowie vom linksseitigen, laotischen Ufer, der Mae Ngau. Der Zufluss des Mae Ruaks liegt vor dem Pegel Sop Ruak und muss daher nicht separat berücksichtigt werden. Von den beiden Flüssen Mae Kham und Mae Kok liegen Abflussdaten seit 1981 bzw. seit 1993 vor. Vom Mae Ngau liegen keine Daten vor. Da sein Einzugsgebiet ähnlich groß wie der des Mae Khams ist und die Abflussmengen im Verhältnis zum Mekong gering sind, wurden die Abflussdaten vom Mae Kham verwendet. Somit wurden für die Steuerung des Modells für die Einlaufträder die Zuflussdaten des Mekong und der drei Zuflüsse vorgegeben. Beim Auslauftrand wurde der Wasserspiegel der Pegelstation Chiang Khong vorgegeben.

5.4.3 Kalibration und Validation des Modells

Die Rauigkeit der Flusssohle ist nicht bekannt. Bekannt ist aus den vorliegenden Daten (siehe hierzu Kapitel 3.5.1.2), die Beziehung Wasserstand zu Abfluss für den Pegel Chiang Saen (siehe Kapitel 3.5.1). Die beiden

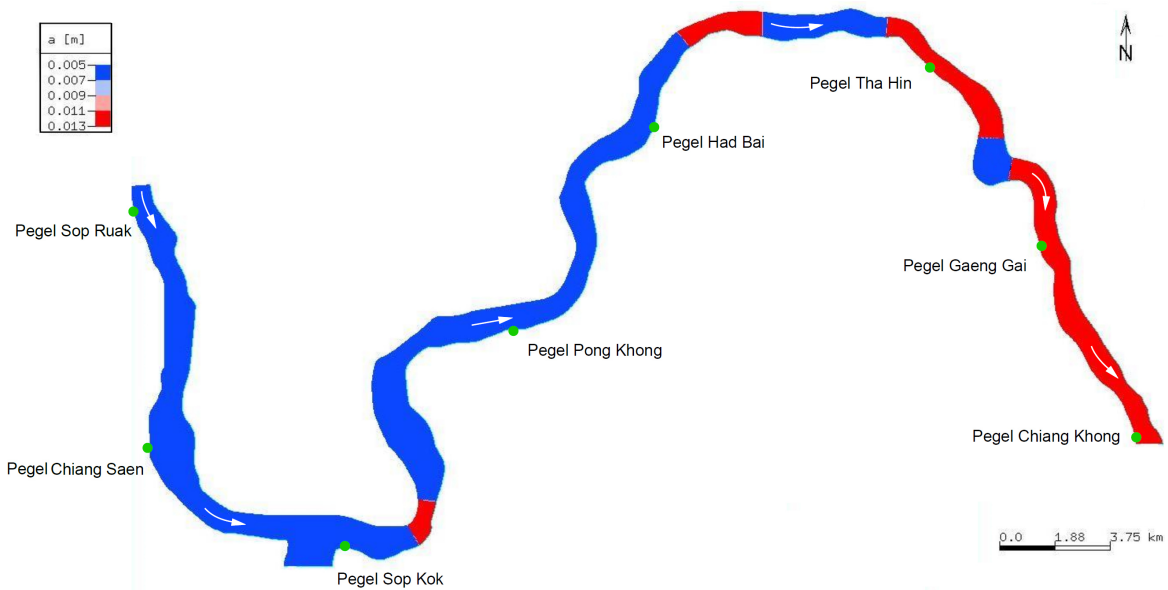


Abbildung 5.4: Unterschiedliche Rauigkeitsparameter, $r=0,005$ (blau) und $r=0,013$ (rot)

Pegel Sop Ruak und Chiang Saen liegen 8,5 km voneinander entfernt und es gibt keine nennenswerten Zuflüsse zwischen den beiden Pegeln. Somit kann unter der Annahme, dass der Abfluss an beiden Stationen gleich ist, auch eine Q-H-Beziehung für den Pegel in Sop Ruak, basierend auf den Abfluss bei Chiang Saen, ermittelt werden.

Das Modellgebiet wurde in zwei unterschiedliche Bereiche unterteilt: In Bereiche in denen der Mekong deutlich alluvialen Charakter hat und in felsige Bereiche. Die Abschnitte Sop Ruak - Chiang Saen, Chiang Saen - Sop Kok und Pong Khong - Had Bai sind rein alluviale Abschnitte; die Abschnitte Sop Kok - Pong Khong, Had Bai - Tha Hin und Thai Hin - Gaeng Gai sind teils alluvial und teils felsig; der Abschnitt Gaeng Gai - Chiang Khong wurde als durchgehend felsig angenommen (zur Lokalisierung der Abschnitte sei auf Abbildung 5.4 verwiesen).

Zur Ermittlung der Rauigkeit wurden mit Timor3 mehrere Simulationen mit unterschiedlichen Abflüssen ($500 \text{ m}^3/\text{s}$, $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, etc.) und unterschiedlichen Rauigkeitsfaktoren durchgeführt. Dazu wurde die in Kapitel 3.5.1 (Abbildung 3.11) dargestellte, für die Jahre 2001-2010 gemittelte Abflusskurve verwendet. Anschließend wurden Pegelstände durch Simulationsläufe mit unterschiedlichen Sohlrauigkeiten und den Abflüssen in 2010 während der Sonarmessungen ermittelt. Durch einen Vergleich mit den gemessenen Wasserspiegellagen an den acht Pegeln konnte hier eine Eichung des Rauigkeitsparameters r vorgenommen werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.5 dargestellt.

Als Resultat ergab sich eine Sohlrauigkeit von $r=0,005$ für die alluvialen Bereiche und $r=0,013$ für die felsigen Bereiche. Bei den felsigen Abschnitten ist zu beachten, dass der Rauigkeitsfaktor dort auch deswegen so hoch ist, weil die Vermessung in diesen Bereichen einzelne Felsen und deren Form nur sehr begrenzt aufnehmen konnte. Anstelle der punktuellen Erhebungen durch die Felsen wird eine gemittelte Struktur der Flusssohle dargestellt. Dadurch wird der punktuelle Aufstau des Wasser durch die Felsen sehr schwach berücksichtigt. Der Rauigkeitsfaktor stellt daher in diesem Fall nicht die tatsächliche Rauigkeit

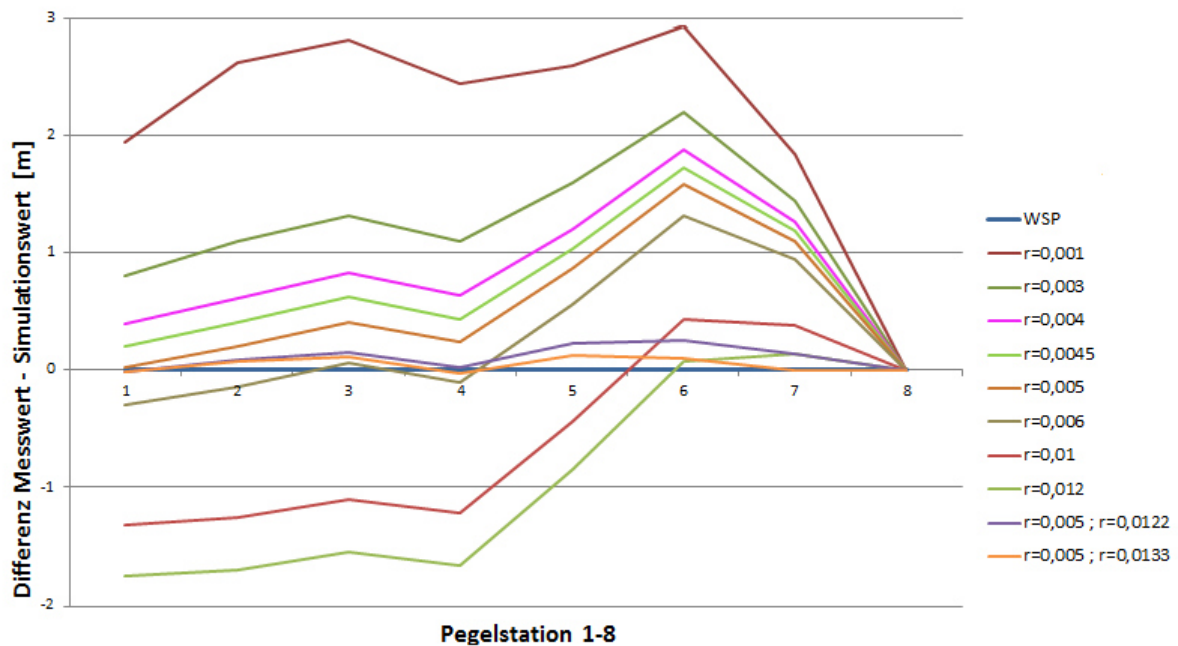


Abbildung 5.5: Kalibrierung Rauigkeitsparameter (Sop Ruak = Pegelstation 1, Chiang Khong = Pegelstation 8)

der Flusssohle dar, sondern korrigiert hier auch die lückenhafte Aufnahme der eigentlichen Topographie der Flusssohle.

5.4.4 Generierung einer Abflussganglinie

Basierend auf den in Kapitel 5.4.3 ermittelten Parametern wurde eine hydrodynamische Simulation durchgeführt, mit den Abflusswerten, die während der Sonarmessungen im Zeitraum vom 26. August bis 25. September 2010 (31 Tage) beobachtet wurden, da hier Pegelstände für alle Pegel vorlagen (siehe Abbildung 5.6 und vergleiche auch Abbildung 4.10).

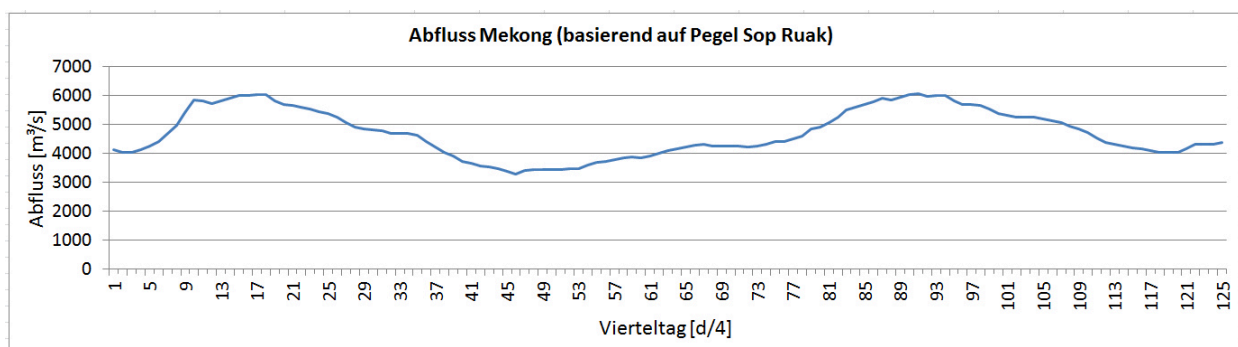


Abbildung 5.6: Abfluss zwischen dem 26. August und 25. September 2010

In den Abbildungen 5.7 und 5.8 sind die Ergebnisse der Simulation dargestellt. Die Ergebnisse zeigen die sehr gute Simulation des Abflussverhaltens durch das Programm Timor3 im Vergleich zu den tatsächlich gemessenen Wasserständen.

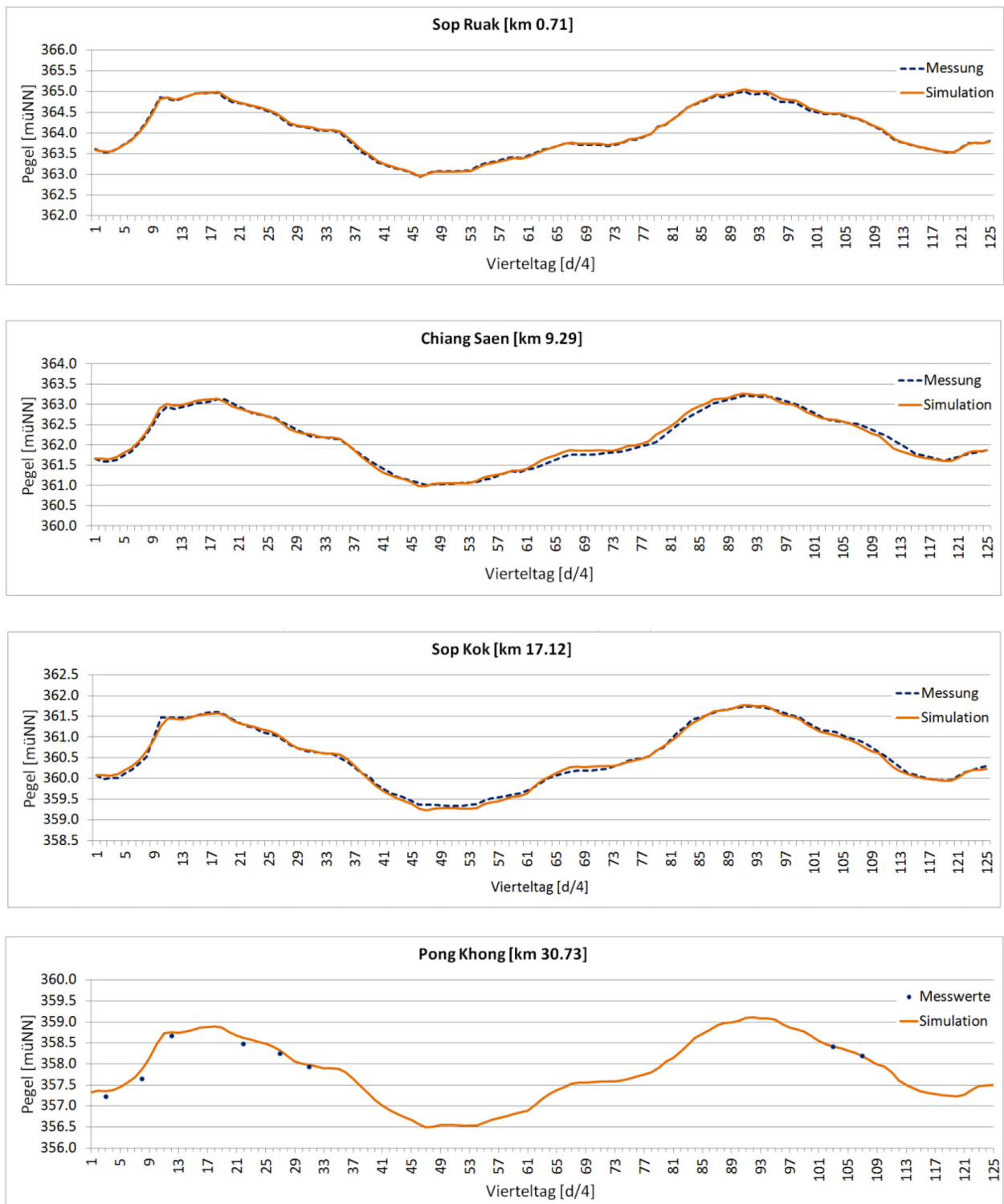


Abbildung 5.7: Gemessene und simulierte Pegelstände (1/2)

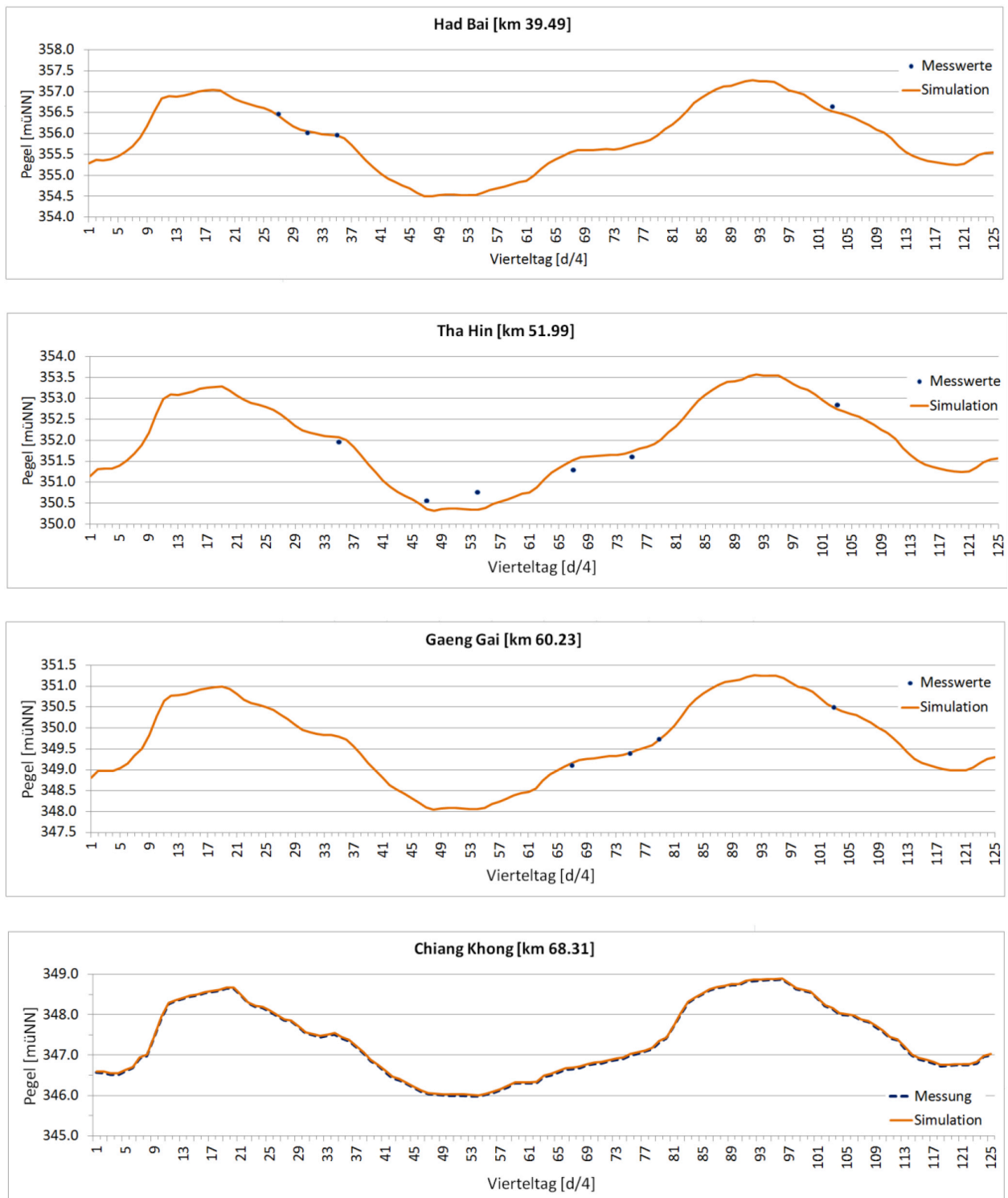


Abbildung 5.8: Gemessene und simulierte Pegelstände (2/2)

5.5 Untersuchungen zur Schiffbarkeit im Projektgebiet

5.5.1 Bereits durchgeführte Untersuchungen

Die Expedition in 1993 (Ding [1993]) identifizierte insgesamt 22 Stromschnellen und Untiefen im oberen Flussabschnitt des Mekong zwischen Laos und Thailand, für welche strombauliche Maßnahmen vorgeschlagen werden (siehe hierzu auch Kapitel 2.3.1 und Kapitel 2.3.6). Davon befinden sich 11 in dem Flussabschnitt Goldenes Dreieck - Chiang Khong, dem Projektgebiet dieser Arbeit. In den Tabellen und dem Kartenmaterial von Ding [1993] werden allerdings nur neun aufgeführt. Vorgeschlagen werden zwei Leitwerke, fünf Sprengungen und die Installation von zwei Schifffahrtszeichen. Von JEWG [2001] wird, neben Schifffahrtszeichen, nur noch eine Sprengung bei Khon Pi Luang vorgeschlagen. Nicht erwähnt wurde in beiden Berichten eine Untiefe nahe dem Ort Had Bai, die zum Zeitpunkt der Tiefenmessungen im Projektgebiet von Schiffsführern als Haupthindernis während der Mittel- und Niedrigwasserperiode genannt wurde.

In der Tabelle 5.1 sind die in 1993 (Ding [1993]) und 2001 (JEWG [2001]) vorgeschlagenen Maßnahmen aufgeführt.

Tabelle 5.1: Von Ding [1993] und JEWG [2001] vorgeschlagene strombauliche Maßnahmen

Lage der Maßnahme [-]	Entfernung zu Sop Ruak [km]	Maßnahme Ding [1993] [-]	Maßnahme JEWG [2001] [-]	Pegel Jinghong [m]	Abfluss Jinghong [m³/s]
Goldenes Dreieck	3,5	Leitwerk	Schifffahrtszeichen	2,1	728
Ban Saew	22,5	Schifffahrtszeichen	Schifffahrtszeichen	1,86	728
Saen To	37,0	Leitwerk	Schifffahrtszeichen	2,2	793
Upper Pa Pun	41,0	Sprengung	-	1,8	534
Pa Pun	42,6	Sprengung	-	1,8	534
Khon Pi Luang	47,1	Sprengung	Sprengung	2,4	923
Luk Sao Chao Anuvong	53,5	Schifffahrtszeichen	Schifffahrtszeichen	k.A.	-
Geng Gai	60,2	Sprengung	Schifffahrtszeichen	k.A.	-
Jong Chai	61,5	Sprengung	Schifffahrtszeichen	k.A.	-

In Spalte vier der Tabelle ist die notwendige Höhe des Pegels in Jinghong angegeben, damit an den jeweiligen Orten die Navigation für Frachter bis 100 DWT ohne strombauliche Maßnahmen möglich ist. In Spalte fünf ist die dazugehörige Wassermenge angegeben, die mit der folgenden in JEWG [2001] angegebenen Formel berechnet wurde (h = Pegel Jinghong in m):

$$Q = 10,783 \cdot h^2 + 603,51 \cdot h - 587,19 \quad (5.5)$$

Gemäß Tabelle 5.1 ist das Haupthindernis die Untiefe Khong Pi Luang, die zwischen den Pegelstationen Had Bai und Tha Hin (siehe Abbildung 4.3), bzw. im Bereich Pha Khup der Abbildung 5.12 liegt. Der berechnete Mindestabfluss in Jinghong ist 923 m³/s, was nach den Berechnungen in Kapitel 3.5.2.2 einem

Mindestabfluss von etwa 1 150 m³/s bei Chiang Saen während der Trockenzeit entspricht. Nach Tabelle 3.5 wird diese Wassermenge durchschnittlich in etwa 80% der Fälle erreicht.

Als Planungsgrundlage in 2001 (JEWG [2001]) dienten Frachter mit 100 - 150 DWT für die erste Phase. Nach dem angewendeten chinesischen Bemessungsstandard¹¹⁵ ergab sich eine Mindestfahrrinnenbreite von 22 m für den Richtungsverkehr bzw. 30 m für Begegnungsverkehr, eine Mindestwassertiefe von 1,5 m und ein Mindestkurvenradius von 260 m. Für die Khon Pi Luang Untiefe wurde eine Mindestdurchflussmenge von 787 m³/s berechnet. Ein Abfluss von 787 m³/s wird laut den Planungsunterlagen an 95 % der Tage im Jahr erreicht (vergleiche hierzu auch die Berechnungen in Tabelle 3.5, die eine gute Übereinstimmung zeigen).

In Ding [1993] wird für die zweite Ausbauphase eine Fahrrinnenbreite von 40 m, eine Mindestwassertiefe von 2 m und ein Mindestkurvenradius von 300 m gefordert.¹¹⁶

5.5.2 Untersuchungen basierend auf der generierten bathymetrischen Karte

Die notwendige Mindestwassertiefe berechnet sich aus dem Tiefgang des Schiffes, dem dynamischen Absunk des Schiffes und einem Mindestabstand zwischen Flusssohle und Schiffsboden, dem sogenannten Flottwasser. Dynamischer Absunk und Flottwasser werden allgemein als Kielfreiheit bezeichnet. Der dynamische Absunk eines beladenen und vom Typ her für diese Arbeit relevanten Schiffes liegt zwischen 0,2 bis 0,4 m (Renner [2004]). Die Tiefe des Flottwassers sollte prinzipiell, auch zum Schutz der Flusssohle, mit 0,5 m angenommen werden, insbesondere bei Ausweich- und Haltemanövern (BMVI [2008]). Für Schubverbände der Klasse VIb ist allerdings Flottwasser von 1 m notwendig (Scheubner [2000]). In der Praxis kommt es oftmals vor, dass Schiffe auch fahren, obwohl keine Flottwassertiefe von 0,5 m vorhanden ist.¹¹⁷ Bei Berücksichtigung des dynamischen Absunks, kann die Flottwasser Tiefe auf 0,3 m reduziert werden (siehe hierzu auch Abromeit u. a. [2011]).

Für den Flussabschnitt Sop Ruak bis Chiang Khong wird untersucht, bei welchem Abfluss die auf dem Lancang-Mekong eingesetzten Schiffe und die nach der Klassifikation der europäischen Binnenwasserstraße (vergleiche hierzu die Tabellen 3.13 und 3.14) als Klasse IV (Europaschiff) und Klasse VIb bezeichneten Schiffe eingesetzt werden können. In Tabelle 5.2 sind die Daten für die drei Schiffstypen zusammengefasst.

Tabelle 5.2: Untersuchte Schiffstypen

Frachter	Breite [m]	Länge [m]	Tiefgang [m]	Kielfreiheit [m]	DWT [ton]
Lancang-Mekong Schiff	6,7 - 8,3	40 - 53	1,5 - 2,5	0,5	150 - 450
Klasse IV (Europaschiff)	9,5	80 - 85	2,5	0,5	1 000 - 1 500
Klasse VIb	22,8	185 - 195	2,5 - 4,5	1,0	3 200 - 6 000

¹¹⁵Laut dem chinesischem Navigationsstandard für Binnenwasserstraßen GBJ 139-90 entspricht dies der Binnenwasserstraße Klasse VI. Der Standard GBJ 139-90 wurde allerdings im Jahr 2004 vom Standard GB 50139-2004 abgelöst und dieser wiederum im Jahr 2014 vom aktuellen Standard GB 50139-2014.

¹¹⁶Entspricht Binnenwasserstraße Klasse V in GBJ 139-90.

¹¹⁷Dem Autor ist es selber auf dem Mekong zwischen Guanlei und Chiang Saen passiert, dass das Frachtschiff mit dem er gefahren ist, mehrmals Grundberührung hatte und letztendlich auch auf dem Grund festsaß. Hier musste ein anderes Frachtschiff das auf Grund gefahrene Schiff freischleppen.

Mit dem Programm Timor3 wurden hydrodynamische Simulationen für unterschiedliche Abflüsse von 500 - 6 000 m³/s (in 500 m³/s Schritten) für das Projektgebiet durchgeführt und anschließend die vorhandenen Wassertiefen ausgewertet.¹¹⁸ Basierend auf dieser Auswertung wurde Abbildung 5.9 erstellt, in der die schiffbare Flusslänge in Abhängigkeit vom Abfluss dargestellt ist.

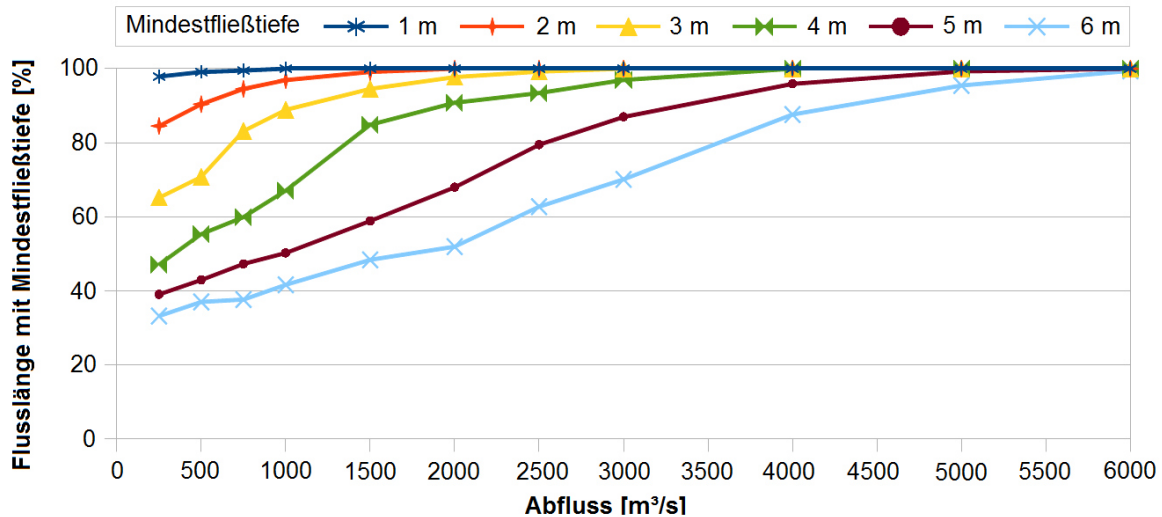


Abbildung 5.9: Schiffbare Flusslänge in Abhängigkeit zum Abfluss (Abschnitt Goldenes Dreieck - Chiang Khong)

In Tabelle 5.3 wurde die Ergebnisse der Simulationen für unterschiedliche Schiffstypen ausgewertet.

Tabelle 5.3: Perzentile der schiffbaren Flusslänge für verschiedene Mindestfahrnientiefen

Frachter	min. Fahrnientiefe [m]	P90 [m³/s]	P95 [m³/s]	P96 [m³/s]	P97 [m³/s]	P98 [m³/s]	P99 [m³/s]	P100 [m³/s]
Lancang-Mekong Schiff	2,0	520	799	905	1 025	1 249	1 473	2 000
Klasse IV (Europaschiff)	3,0	1 099	1 573	1 730	1 888	2 097	2 431	3 000
Klasse VIb	3,5	1 517	2 149	2 298	2 452	2 720	3 051	3 500

Aus den Ergebnissen der Simulation ist ersichtlich, dass für die kleineren Lancang-Mekong Schiffe bei 800 m³/s insgesamt 95% des Flussabschnittes befahrbar sind, für Klasse IV und Klasse VIb sind dafür 1 573 m³/s bzw. 2 149 m³/s notwendig. Ab einem Abfluss von 2 000 m³/s ist der gesamte Flussabschnitt im Projektgebiet für die meisten der aktuell eingesetzten Lancang-Mekong Schiffe befahrbar. Für Frachter der Klasse IV ist dafür eine Durchfluss von 3 000 m³/s und für Klasse VIb Frachter 3 500 m³/s erforderlich. Bei Berücksichtigung von Abbildung 3.17, bzw. Tabelle 3.5, zeigt sich, dass ohne Stauregelung des Mekongs an 95% der Tage ein Minstdurchfluss von ca. 800 m³/s erreicht wird, bei dem die Lancang-Mekong Schiffe 95 % des Mekong im Projektgebiet befahren können. Ein Mindestabfluss von 2 000 m³/s der notwendig ist, damit für Lancang-Mekong Schiffe die Strecke komplett schiffbar wird, wird ohne Regulierung des Mekong nur in etwa der Hälfte der Tage (53%) erreicht. Nach voller Stauregulierung des Mekong kann allerdings ein ganzjähriger Mindestabfluss von 2 000 m³/s erreicht werden (vergleiche Berechnungen in Kapitel 3.5.2.2), der eine ganzjähriger Schiffbarkeit der Strecke Goldenes Dreieck - Chiang Khong für einen Großteil der aktuell eingesetzten Lancang-Mekong Schiffe ermöglicht.

¹¹⁸Dabei wurde die Breite zweier Gitternetzelemente berücksichtigt, das sind im Mittel 26 m.

5.6 Identifikation kritischer Flussabschnitte bezüglich der Navigation

Wie in Kapitel 5.5.1 dargestellt, wird von Ding [1993] und JEWG [2001] für die zweite Ausbauphase eine Mindestwassertiefe von 2 m, eine Fahrrinnenbreite von 40 m und ein Mindestkurvenradius von 300 m geplant. Allerdings fahren von China bis nach Chiang Saen bereits Frachter bis zu 450 DWT. Eine Mindestwassertiefe von 2 m ist daher für viele der bereits eingesetzten Schiffe nicht mehr ausreichend, da der Tiefgang hier bereits 2,5 m beträgt, ohne Berücksichtigung von Flottwasser und dynamischen Absunk (vergleiche Tabelle 5.2). Hier sind mindestens 3 m erforderlich, um den Schutz der Flusssohle zu gewährleisten.

Es gibt nach Eloot u. a. [2015] in Europa keine nationalen Richtlinien und nach Rettemeier u. Söhngen [2015] generell nur wenig Planungsgrundlagen, nach denen die erforderlichen Mindestbreiten für Fahrrinnen in einem Fluss für verschiedene Schiffsklassen berechnet werden können. In Deutschland gibt es nur Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen (BMVBS [2011]). Die Rahmenbedingungen bei einer Fahrt im Kanal sind allerdings nicht wirklich vergleichbar mit denen im Fluss; insbesondere was Schiffsgeschwindigkeiten, Windeinfluss, Strömungen und Querströmung betrifft. Daher sind die nach BMVBS [2011] berechneten Mindestbreiten nicht ausreichend. In der Vergangenheit wurde oftmals die PIANC¹¹⁹ MARCOM¹²⁰ WG 49 Richtlinie verwendet, die für zweisepurigen Verkehr als Mindestbreite die 4.8 - 5.7 -fache Schiffsbreite ansetzt.

Die WG 49 Richtlinie wurden allerdings für Fahrten von Seeschiffen in Binnengewässern erstellt und sind genau genommen, aufgrund der Unterschiede zwischen Seeschiffen und Binnenschiffen bezüglich Steuerbarkeit und Geschwindigkeit, nicht ohne weiteres auf Binnenschiffe übertragbar (Söhngen u. Eloot [2014]). Im Jahr 2010 wurde von PIANC die Arbeitsgruppe PIANC InCom¹²¹ WG 141 gegründet, um mit den MARCOM Standards vergleichbare Bemessungsstandards für Binnenwasserstraßen zu entwickeln.

Die erforderliche Fahrrinnenbreite B_F berechnet sich aus der Summe der erforderlichen Fahrspurbreite (B_1), dem notwendigen Abstand vom Ufer bzw. Untiefen im Fluss S_U und, bei Begegnungsverkehr, einem notwendigen Sicherheitsabstand zwischen den Schiffen S_B (siehe hierzu auch Abbildung 5.10).

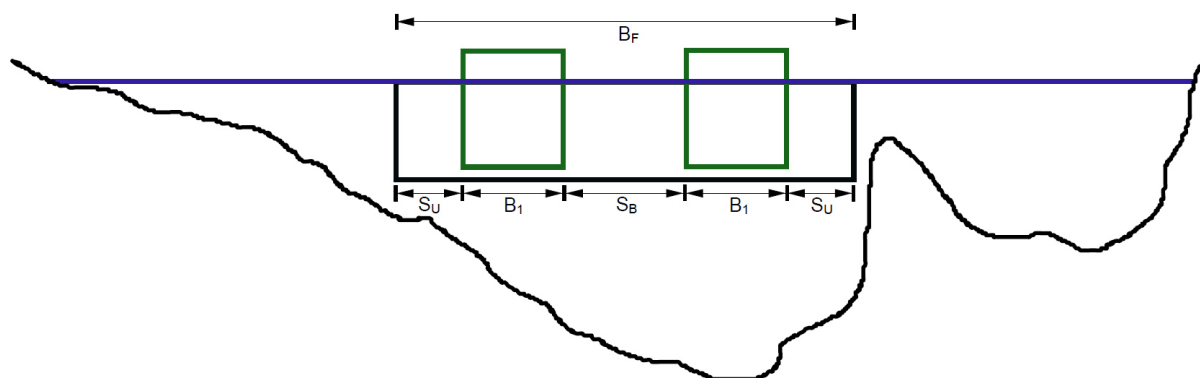


Abbildung 5.10: Bemessungsquerschnitt für Begegnungsverkehr

¹¹⁹The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure

¹²⁰The European Marine and Maritime Science and Technology Forum

¹²¹Inland Navigation Commission

Die erforderliche Fahrrinnenbreite B_{FR} für den Richtungsverkehr in einer Geraden lässt sich mit der folgenden Formel berechnen:

$$B_{FR} = S_U + B_1 + S_U \quad (5.6)$$

Der notwendige Bemessungsquerschnitt im Begegnungsverkehr in der Geraden lässt sich wie folgt berechnen:

$$B_F = S_U + B_1 + S_B + B_1 + S_U \quad (5.7)$$

Nach BMVBS [2011] hat das zu berücksichtigende Verhältnis Fahrspurbreite B_1 zur Schiffsbreite b in einem Kanal den Wert 1,4. Da dies, wie zuvor ausgeführt, nicht ausreicht, wird es für die folgenden Untersuchungen mit 2 angenommen. Der notwendige zusätzliche Abstand zum Ufer bzw. Untiefen wird nach BMVBS [2011] für das R-Profil¹²² mit 4 m angesetzt. Der Abstand von zwei Schiffen wird mit der Breite des größeren Schiffes angesetzt. Daraus ergeben sich die folgenden Berechnungsansätze:

$$B_{FR} = S_U + B_1 + S_U = 4 \text{ m} + 2 \cdot B + 4 \text{ m} \quad (5.8)$$

$$B_F = S_U + B_1 + S_B + B_1 + S_U = 4 \text{ m} + 2 \cdot B + b + 2 \cdot B + 4 \text{ m} \quad (5.9)$$

In Tabelle 5.4 sind die mit den Gleichungen 5.8 und 5.9 berechneten, erforderlichen Fahrrinnenbreiten (B_{FR} und B_F) für die betrachteten Schiffsgößen dargestellt.

Tabelle 5.4: Erforderliche Fahrrinnenbreite

Frachter	max. Breite [m]	max. Länge [m]	B_1 [m]	S_U [m]	S_B [m]	B_{FR} [m]	B_F [m]	Δb_K [m]	B_{FK} [m]
Lancang-Mekong Schiff	8,3	53	16,6	4	8,3	24,6	49,5	3,4	56,2
Klasse IV (Europaschiff)	9,5	85	19	4	9,5	27,0	55,5	8,6	72,8
Klasse VIb	22,8	195	45,6	4	22,8	53,6	122	45,5	213

Wie aus der Tabelle 5.4 ersichtlich, beträgt die erforderliche Fahrrinnenbreite B_{FR} für den Richtungsverkehr für Lancang-Mekong Schiffe 24,6 m, für Schiffe der Klasse IV 27 m und für Klasse VIb 53,6 m. Für die erforderliche Fahrrinnenbreite des Begegnungsverkehrs B_F sind es 49,5 m, 55,5 m und 122 m. Dies ist vergleichbar mit der chinesischen Bemessungsrichtlinien für Schiffe der Klasse IV und V, welche für den Richtungsverkehr eine Fahrrinnenbreite von 30 m und für Begegnungsverkehr von 50 m vorsieht (Elout u. a. [2015]). In den Untersuchungen zur Bestimmung von Fahrrinnenmindestbreiten für Binnenwasserstraßen durch Wassermann u. a. [2010] liegt die notwendige Mindestfahrrinnenbreite für Begegnungsverkehr auf dem Rhein, für einspurige Schubverbände in dem untersuchten Flussabschnitt, bei etwa 50 m. Für die weiteren

¹²²Rechteckprofil mit beidseitig senkrechtem Ufer

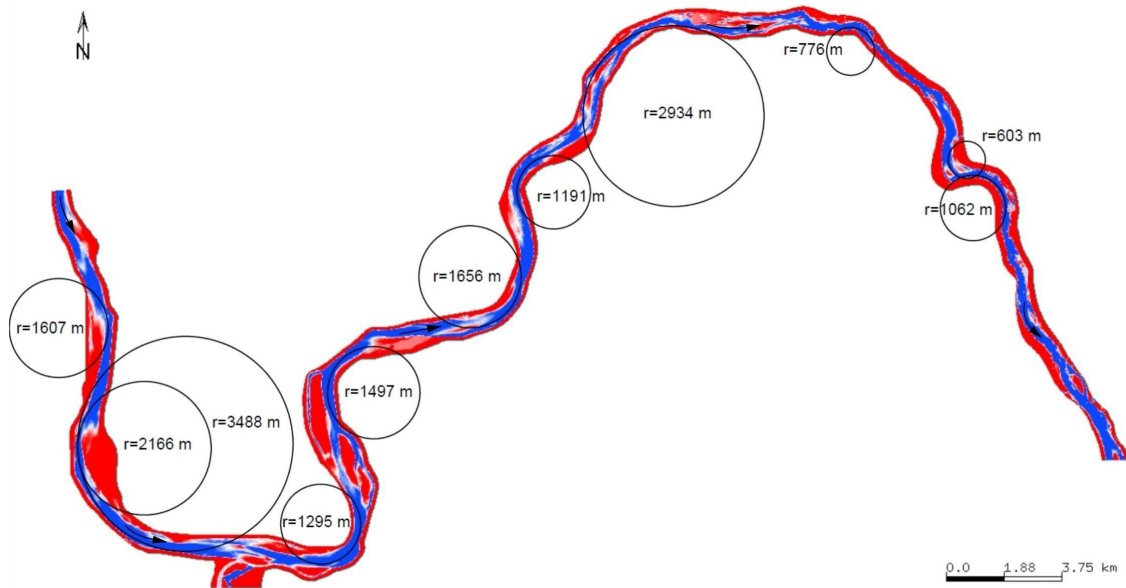


Abbildung 5.11: Bestimmung der Kurvenradien im Projektgebiet

Untersuchungen wird eine Mindestfahrinnenbreite von 50 m angenommen, welches etwa der erforderlichen Fahrinnenbreite für Begegnungsverkehr von Lancang-Mekong Schiffe und Klasse IV (Europaschiff), sowie der notwendigen Fahrinnenbreite des Richtungsverkehres für Schiffe der Klasse VIb entspricht.

Der in den Planungsunterlagen vorgeschlagene Radius von 300 m ist für eine internationale Wasserstraße sehr gering. Dabei gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass die bisher eingesetzten Schiffe mit einer Länge von etwa 50 m deutlich kürzer sind als ein Europaschiff, das eine Länge von 80 m hat. Die Kurven des auf Klasse Vb ausgebauten Mains haben einen Mindestradius von 500 m (RvU [2003]) bei einer Fahrinnenbreite von 50 m. Für Schifffahrtskanäle ist in BMVBS [2011] der Mindestkurvenradius ebenso mit 500 m angegeben. Eine Analyse der Kurvenradien des Mekong im Projektgebiet zeigt, dass der minimale Kurvenradius bei etwa 600 m liegt und somit den Anforderungen einer internationalen Schifffahrtsstraße entspricht. Dies ist in Abbildung 5.11 dargestellt.

Die Berechnung der notwendigen Flussbreite in einer Kurve kann nach Lattermann [2010] für die erforderliche Fahrspurbreite B_1 und die Gesamtbreite B in der Krümmung eines Kanales mit folgenden Formeln erfolgen:

$$B_1 = \sqrt{(R_i + s_s + b)^2 + \left[\frac{l}{2} + (R_i + s_s + 0,5 \cdot b) \cdot \tan\beta \right]^2} - R_i - s_s \quad (5.10)$$

$$B = \sqrt{(R_i + B_1 + s_s + s_B + b)^2 + \left[\frac{l}{2} + (R_i + s_s + s_B + 0,5 \cdot b) \cdot \tan\beta \right]^2} - R_i - s_s \quad (5.11)$$

Ohne Anwendung des Trassierungsverfahrens, aber unter Berücksichtigung einer fahrdynamischen Konstante C_f , kann die erforderliche Fahrspurbreite in einer Kanalkurve nach BMVBS [2011] berechnet werden. Diese Formel kann nicht nur für Kanäle, sondern auch für Fließgewässer verwendet werden (Söhngen u. Butterer [2015]):

$$B_{1K} = \sqrt{(R_i + b)^2 + (C_f \cdot l)^2} - R_i + \min B_1 \geq \min B_1 \quad (5.12)$$

Nach dem vereinfachten Ansatz kann die zusätzlich erforderliche Fahrrinnenbreite Δb_K in einer Kurve (Fischer u. a. [2014], Söhngen u. Butterer [2015]) folgendermaßen berechnet werden:

$$\Delta b_K \approx \frac{l}{2} \cdot C_f^2 \cdot \frac{L^2}{R_i} \quad (5.13)$$

Die fahrdynamische Konstante C_f liegt laut BMVBS [2011] gemäß den Empfehlungen der Bundesanstalt für Wasserbau in Kanälen bei 0,9 - 1,0 für Schiffe der Klasse IV, V und VI. Nach Fischer u. a. [2014] kann C_f in Flüssen für Schiffe der Klasse Va (ohne Bugruder) Werte zwischen etwa 0,6 und 1,8 annehmen, je nach Schiffs- und Strömungsgeschwindigkeit (höhere Werte für Talfahrten mit geringem Tiefgang). Für die Berechnung der zusätzlich erforderlichen Fahrrinnenbreite in der $R_i=602$ m Kurve wird ein mittlerer C_f Wert von 1,2 angesetzt. Die Ergebnisse der Berechnung mit der Formeln (5.12) und (5.13) zur Mindestbreite der Fahrrinne für den Kurvenradius $R_i=602$ m sind in Tabelle 5.4 in den beiden letzten Spalte für Δb_K und den Begegnungsverkehr unter B_{FK} beigefügt.

Basierend auf den obigen Ausführungen und Tabelle 5.4 für die Frachter der Klasse IV, werden im folgenden diejenigen Flussabschnitte im Projektgebiet untersucht, bei denen eine Mindestwassertiefe von 3,0 m¹²³ und eine Fahrrinnenbreite von 50 m für zwei unterschiedliche Abflussszenarien nicht gegeben ist.

5.6.1 Untiefen bei einem Abfluss von $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Der Mekong hat bei Chiang Saen an 90% der Tage im Jahr einen Mindestabfluss von $Q=1000\text{ m}^3/\text{s}$ (vergleiche Tabelle 3.5). Dieser Abfluss wurde mit Timor3 simuliert und anschließend das Projektgebiet für die geforderte Mindesttiefe von 3,0 m auf einer Fahrrinnenbreite von 50 m untersucht. Dabei wurden insgesamt neun Bereiche identifiziert bei denen diese Anforderungen nicht erfüllt wurden. In Abbildung 5.12 ist eine Übersicht über die Bereiche mit identifizierten Untiefen bei einem Durchfluss von $Q=1000\text{ m}^3/\text{s}$ gegeben. Für weitere Details sei auf Anhang D1 verwiesen, in welchem alle neun Flussabschnitte im Detail abgebildet sind.

5.6.2 Untiefen bei einem Abfluss von $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Ein Abfluss von $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ wird bei der Pegelstation Chiang Saen gegenwärtig nur an etwa 50% der Tage im Jahr erreicht (Tabelle 3.5). Allerdings kann, wie in Kapitel 3.5.2.2 gezeigt wurde, durch einen entsprechenden Betrieb der Dämme in China ein ganzjähriger Mindestabfluss von $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ bei Chiang Saen erreicht werden. Daher wird dieser Abfluss mit Timor3 simuliert und untersucht, ob im untersuchten Flussabschnitt Bereiche vorhanden sind, die die geforderte Mindestwassertiefe von 3,0 m auf einer Flussbreite von 50 m unterschreiten.

Hier wurden bei der Auswertung sieben Bereiche identifiziert, bei denen die geforderte Mindestwassertiefe und Mindestbreite für die Fahrrinne nicht eingehalten werden. Dies sind nur zwei Bereiche weniger,

¹²³Vergleiche hierzu auch Tabelle 5.2 in Kapitel 5.5.2. Die WG 141 empfiehlt für Binnenschiffe sogar eine Mindestwassertiefe von 1,3 x Tiefgang (Rettemeier u. Söhngen [2015]).

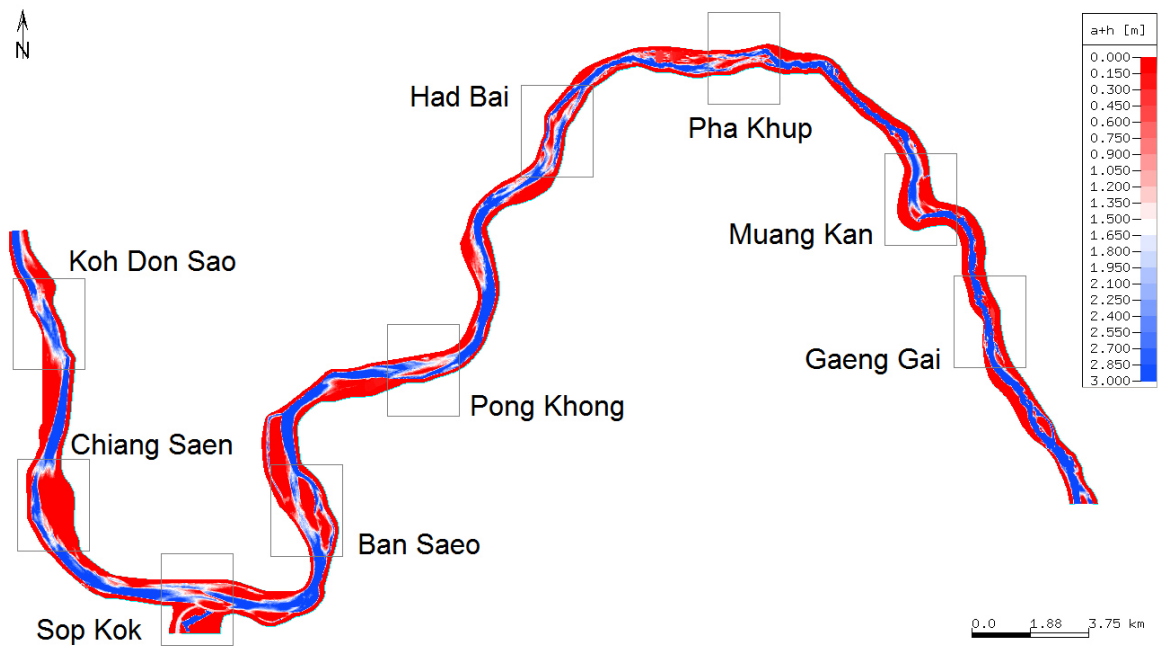


Abbildung 5.12: Übersicht über Bereiche, die die Navigation bei $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$ behindern

als bei den Untersuchungen für einen Abfluss von $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ in Kapitel 5.6.1 identifiziert wurden. In Abbildung 5.13 ist eine Übersicht über die Bereiche der identifizierten Untiefen bei einem Durchfluss von $Q=2000\text{ m}^3/\text{s}$ gegeben. Wie auch schon für den Abfluss von $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$, sind auch hier im Anhang D2 die sieben Flussabschnitte im Detail abgebildet.

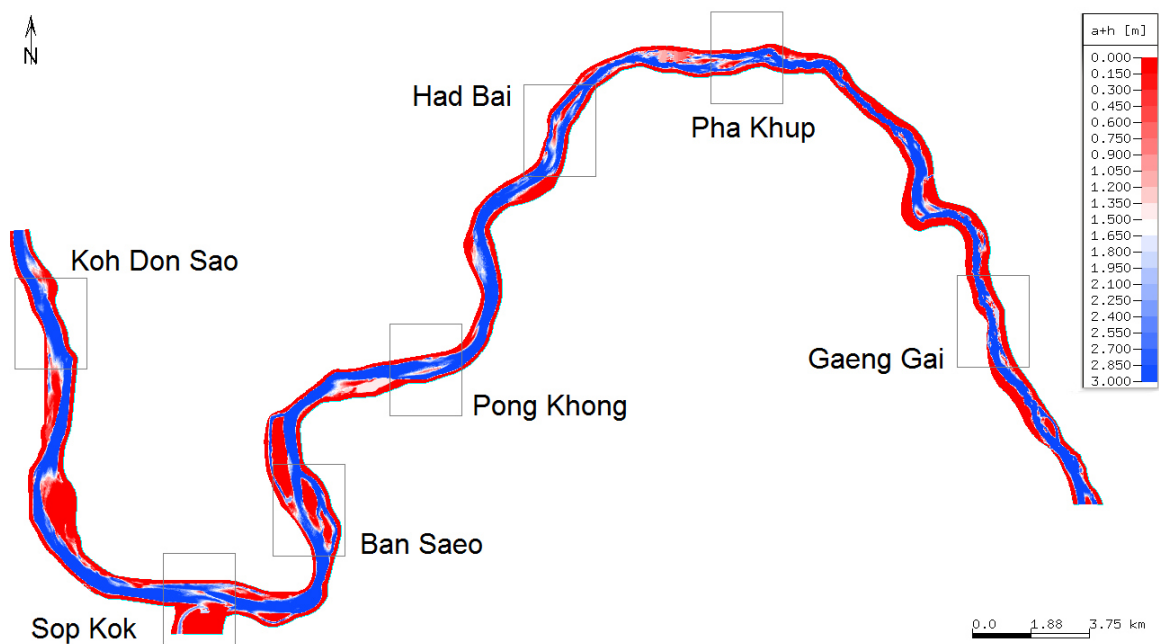


Abbildung 5.13: Übersicht über Bereiche, die die Navigation bei $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern

5.7 Verbesserung der Navigation durch Flussvertiefung

Eine Verbesserung der Navigation in einem bestimmten Flussabschnitt kann durch Eingriffe in das Fließregime des Flusses erreicht werden. Durch eine Einschränkung der Flussbreite, z.B. durch Buhnen, Parallelwerke oder Leitdämme, und durch die Vertiefung der Fahrrinne durch Baggerung. Im untersuchten Projektgebiet kann eine Kombination dieser Maßnahmen die Situation der Schifffahrt signifikant verbessern. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Möglichkeit der Verbesserung der Navigation durch Flussvertiefung untersucht. Dazu wurde für die in Abbildung 5.12 und 5.13 dargestellten Bereiche die Sohle so modifiziert, dass eine Mindestwassertiefe von 3,0 m und eine Fahrrinnenbreite von 50 m gewährleistet ist. In Abbildung 5.14 ist dies exemplarisch für den Flussabschnitt bei Ban Saeo dargestellt.

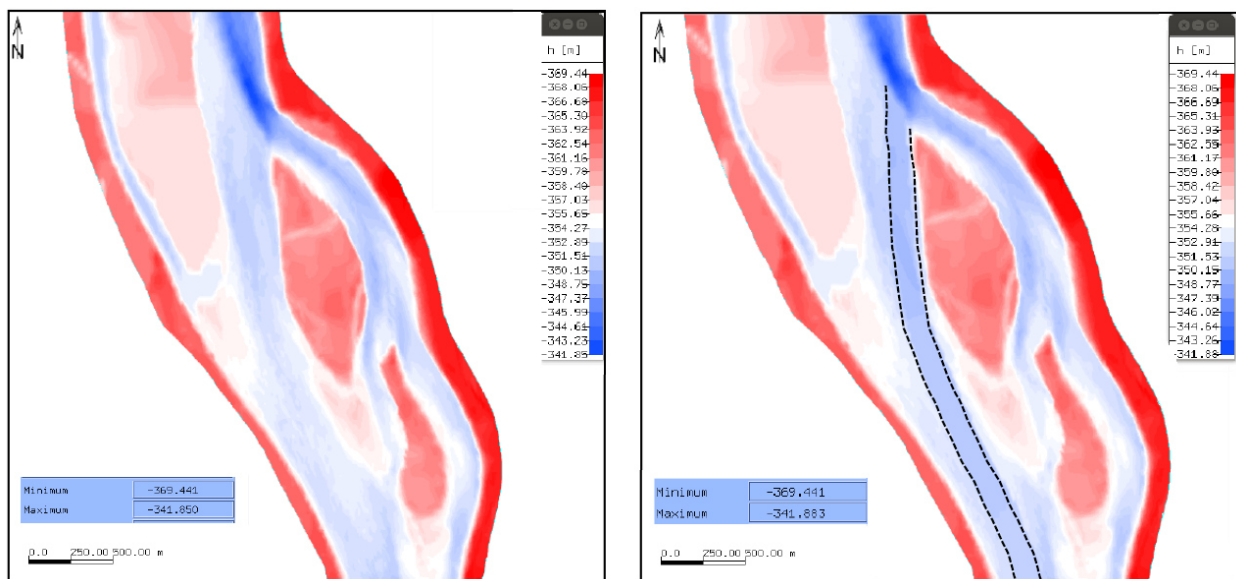


Abbildung 5.14: Vertiefung der Flusssohle (Links:Originalzustand, Rechts: modifizierte Flusssohle)

5.8 Morphologische Simulation

5.8.1 Morphologisches Einrechnen

Wie von Zanke u. Mewis [2002] und in Zanke [2003] dargelegt, ist die Sortierung der Oberflächensedimente vor der Durchführung der eigentlichen morphologischen Simulation mit Timor3 unverzichtbar, da meist, wie auch bei den Untersuchungen in diesem Flussabschnitt des Mekong, ungenügende Sedimentkartierungen vorliegen.

Dazu wird von Timor3 der Untergrund dreidimensional in Schichten unterteilt und dabei jedem Rechenknoten eine frei definierte Anzahl von Bodenschichten, mit variablen Körnungen, für jede Schicht zugeordnet (siehe hierzu ausführliche Erläuterungen in Kapitel 5.3.4). Die Höhenlage des höchsten Punkt und tiefsten Punktes des untersuchten Systems (Kapitel 5.4.1) beträgt 380 m.ü.NN. und 301 m.ü.NN. (tiefster Punkt der Flusssohle). Dabei sind die 380 m.ü.NN. nicht die tatsächliche maximale topographische Höhe in dem abgebildeten Projektgebiet. Der höchste Punkt ist 464,8 m.ü.NN.. Um allerdings die Schichtdicke

in den für die Modellierung wesentlichen Bodenzonen möglichst gering zu halten, wurde die maximale Höhe auf 380 m.ü.NN. begrenzt. Aufgrund der großen Anzahl von Knoten des generierten Gitternetzes und der dadurch bedingten starken Auslastung des Computersystems, konnte der Untergrund nur in 60 Schichten diskretisiert werden, mit einer daraus resultierenden Schichtdicke von 1,5 m (290 m.ü.NN. - 380 m.ü.NN.).

Vor dem morphologischen Einrechnen mit dem Programm Timor3, wird mit Hilfe des Programmes Vorkorn2 eine Vorabschätzung der Sedimentverteilung, basierend auf den maximalen Geschwindigkeiten durchgeführt und eine synthetische Korngrößenverteilung erzeugt. Anschließend folgt das morphologische Einrechnen (Transportsortierung) mit Timor, bei der die Topographie der Flusssohle als unveränderlich angesetzt wird. Das Ergebnis ist eine Flusssohle mit einer systemadäquaten Sedimentverteilung und tiefenkorrekter Topographie. Es ist wichtig hier anzumerken, dass bei der Korneinrechnung mit Timor nur die oberste Schicht modifiziert wird.

Basierend auf den entnommenen Sedimentproben und deren Analyse (siehe Kapitel 3.5.3.2), wurden die in Tabelle 5.5 aufgeführten Sedimenteingabedaten für den Modellierungsstart vorgegeben.

Tabelle 5.5: Sedimenteingabedaten für die Morphologische Simulation mit Timor3

Siebnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Siebdurchgang [mm]	0,150	0,30	0,60	1,18	2,36	4,75	9,50	19,0	37,50	75,0	150,0
Siebrückstandswert [%]	1,0	2,0	14,0	9,5	3,0	4,0	9,0	15,0	23,0	13,0	6,5
Sedimentdichte [t/m ³]	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65

Um die Abhängigkeit von Durchfluss Q und dem daraus resultierenden Korndurchmessern zu quantifizieren, wurden Korneinrechnungen für unterschiedliche Durchflusswerte durchgeführt und für alluviale und felsige Abschnitte separat analysiert. Hierbei wurde allerdings die Korneinrechnung für das Gesamtsystem durchgeführt (und nicht getrennt für alluvial und felsige Abschnitte), da neben der Durchflussmenge auch die Wasserhöhe für die maßgebliche Geschwindigkeit entscheidend ist. Minimale mittlere Korndurchmesser sind in der Tabelle nicht aufgeführt, da sie nur in den Bereichen vorhanden sind, wo kein Abfluss vorhanden ist (z.B. trockene Uferbereiche). Sie betragen $d_{m, \min} = 0,4$ mm. Die maximalen durchschnittlichen Korndurchmesser sind in Tabelle 5.6 dargestellt.

Tabelle 5.6: Korngrößen ermittelt durch Vorkorn (VK) und Timor Korneinrechnung (KE)

Durchfluß Q [m ³ /s]	Mittlerer maximaler Korndurchmesser $d_{m, \max}$			
	Gesamt VK [mm]	Gesamt KE [mm]	Alluvial VK [mm]	Alluvial KE [mm]
2 000	58,757	83,375	35,409	41,747
3 000	58,087	83,676	38,402	43,764
4 000	65,343	149,594	39,077	45,347
5 000	73,891	149,594	41,550	48,835
6 000	77,651	149,594	45,480	52,066
7 000	78,172	149,594	47,228	53,678

Wie in der Tabelle zu sehen ist, steigt der mittlere maximale Korndurchmesser kontinuierlich mit steigendem Q an. Während für alluviale Bereiche der Anstieg für die Korneinrechnung mit Vorkorn2 und mit Timor3 stetig ist, lässt sich für das Gesamtsystem bei der Korneinrechnung mit Timor3 ein Sprung des Korndurchmessers zwischen $Q=3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ und $Q=4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ beobachten. Hierbei ist zu beachten, dass die hohen Werte nur punktuell auftreten, meist durch Felsen im Flussbett bedingt. Da die felsigen Abschnitte als unveränderliche Sohle in Ansatz gebracht werden, ist der Unterschied zwischen Vorkorn und Korneinrechnung nicht bedenklich. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass auch die Unterschiede im alluvialen Bereich zwischen Vorkorn und der Korneinrechnung in Timor zumeist auf punktuell höhere Werte für die Korneinrechnung zurückzuführen sind. Dies ist aus den Abbildungen 5.15 ($6\,000\text{ m}^3/\text{s}$; Timor: $47,6\text{ mm}$; Vorkorn: $43,9\text{ mm}$) und 5.16 ($10\,000\text{ m}^3/\text{s}$; Timor: $43,1\text{ mm}$; Vorkorn: $44,0\text{ mm}$) ersichtlich. Zu beachten ist, dass die Korneinrechnung von Timor auf der voll durchmischten Sohle, generiert von Vorkorn, basiert. Generell ist anzumerken, dass die Werte eine gute Übereinstimmung zeigen.

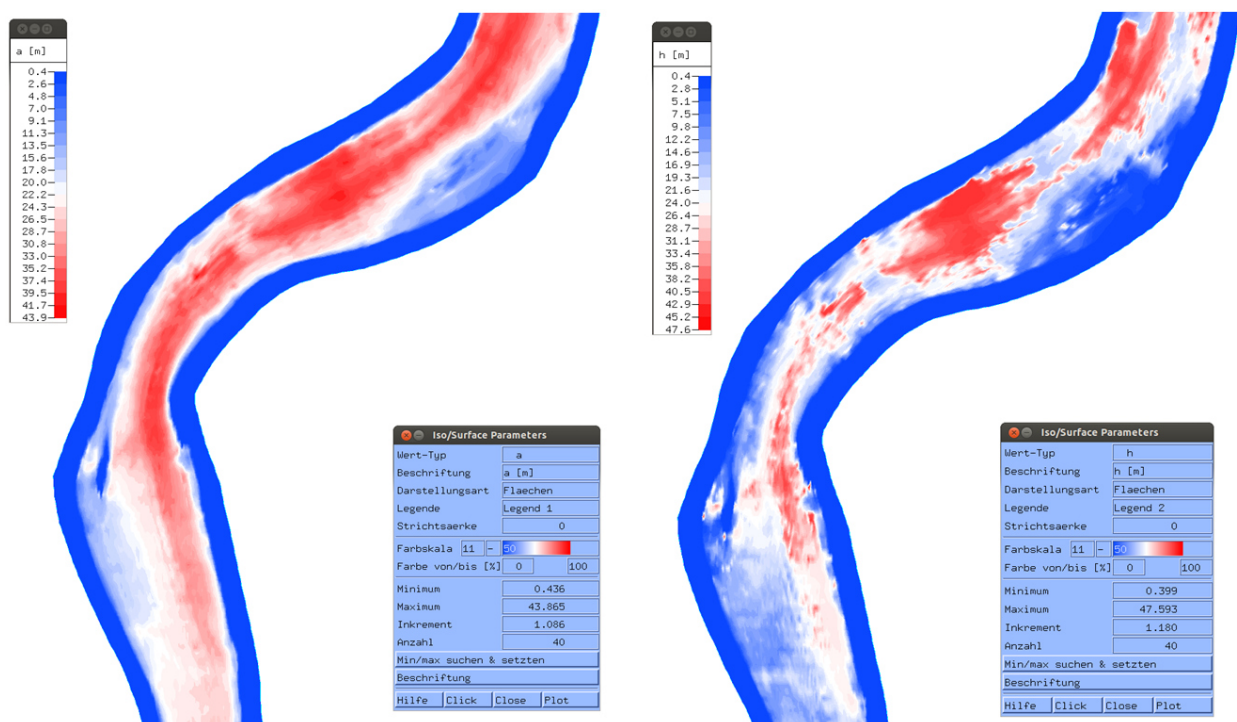


Abbildung 5.15: Korneinrechnung mit Vorkorn (links), anschließend mit Timor (rechts); Q jeweils $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$

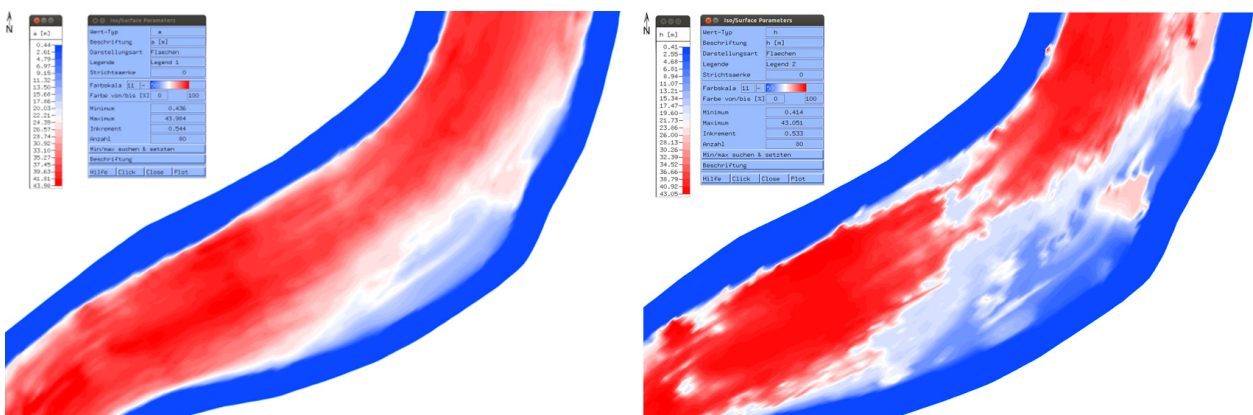


Abbildung 5.16: Korneinrechnung mit Vorkorn (links), anschließend mit Timor (rechts); Q jeweils $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Welche Auswirkungen eine nicht korrespondierende Kornverteilung auf die Simulationsergebnisse haben kann, ist in Abbildung 5.17 zu sehen. Hier wurde die von Vorkorn2 berechnete Korngröße um den Faktor 15 reduziert, die Korngrößeneinrechnung mit Timor3 wurde unverändert beibehalten. Das Resultat ist eine Rinnenbildung und die Vertiefung des Flussbettes bis zum vorgegebenen unerodierbaren Bodenhorizont bei Mittelwasserabflüssen von bis zu $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

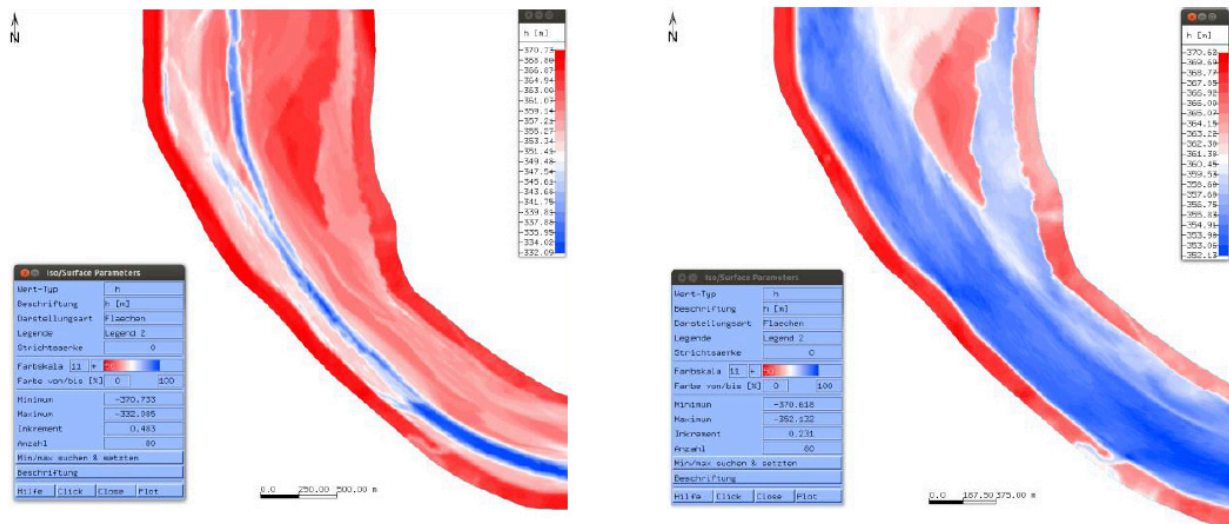


Abbildung 5.17: Flussbetthöhen nach der Simulation ($t=10$, $EF=0,5$; links Korngrößen mit Faktor 15 reduziert)

Aus den obigen Ausführungen zur Kornsortierung ist ersichtlich, welchen immanent wichtigen Einfluss sie auf die Tiefenentwicklung der Gewässersohle während der morphologischen Simulation hat. Daher muss vor jeder Simulation entschieden werden, mit welchen Durchflusswerten die Korneinrechnung durchgeführt werden soll. Dies ist in den folgenden Abbildungen ersichtlich, bei denen die morphologische Simulation mit den Abflusswerten für den Zeitraum vom 26. August bis 25. September 2015 (31 Tage) durchgeführt wurde. Dies ist der Zeitraum in welchem die Tiefenmessungen im Projektgebiet durchgeführt wurden (vergleiche Kapitel 5.4.4 und siehe hierzu Abbildung 5.6). Der maximale Abfluss beträgt in dem Zeitraum $6\,058\text{ m}^3/\text{s}$. Vor Beginn der Simulationen wurde die Korneinrechnung mit Vorkorn2 und Timor3 mit drei unterschiedlichen Durchflüssen durchgeführt: $Q_1=3\,000\text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2=6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ und $Q_3=9\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Die Ergebnisse der Simulationen sind in den Abbildungen 5.18, 5.19 und 5.20 dargestellt.

Für die Simulationen mit den Korneinrechnungen für Q_1 und Q_2 ist eine ausgeprägte Rinnenbildung zu beobachten. Dies ist insbesondere für Q_2 überraschend, da der maximale Abfluss der Simulation nur geringfügig über $Q=6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ liegt. Plausible Ergebnisse liefert die Simulation bei einer Korneinrechnung mit $Q_3=9\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Zahlreiche weitere Simulationen wurden mit unterschiedlichen Werten für die variablen Eingabeparametern von Timor3 durchgeführt, insbesondere wurde der vorgebbare Hangabwärtstrieb variiert. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass die einzige Möglichkeit zur Vermeidung von Rinnenbildung die Erhöhung des Abflusses bei der Korneinrechnung mit Vorkorn2 darstellt.

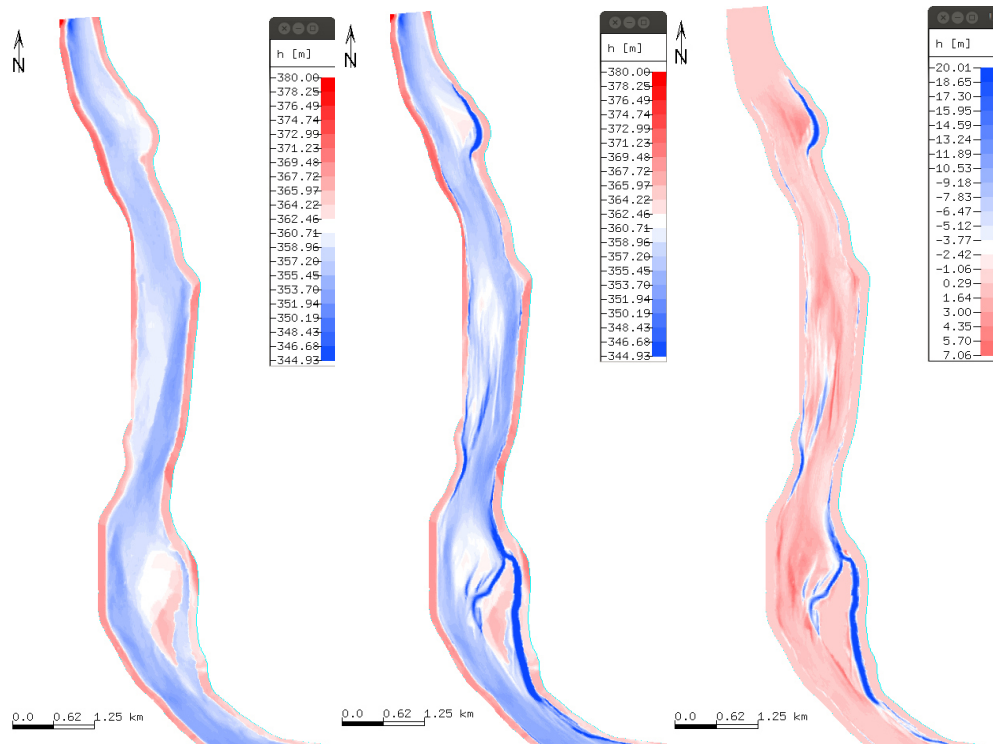


Abbildung 5.18: Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vor-korn2 und Timor3 mit jeweils 3 000 m³/s, Abfluss 30 Tage 2010)

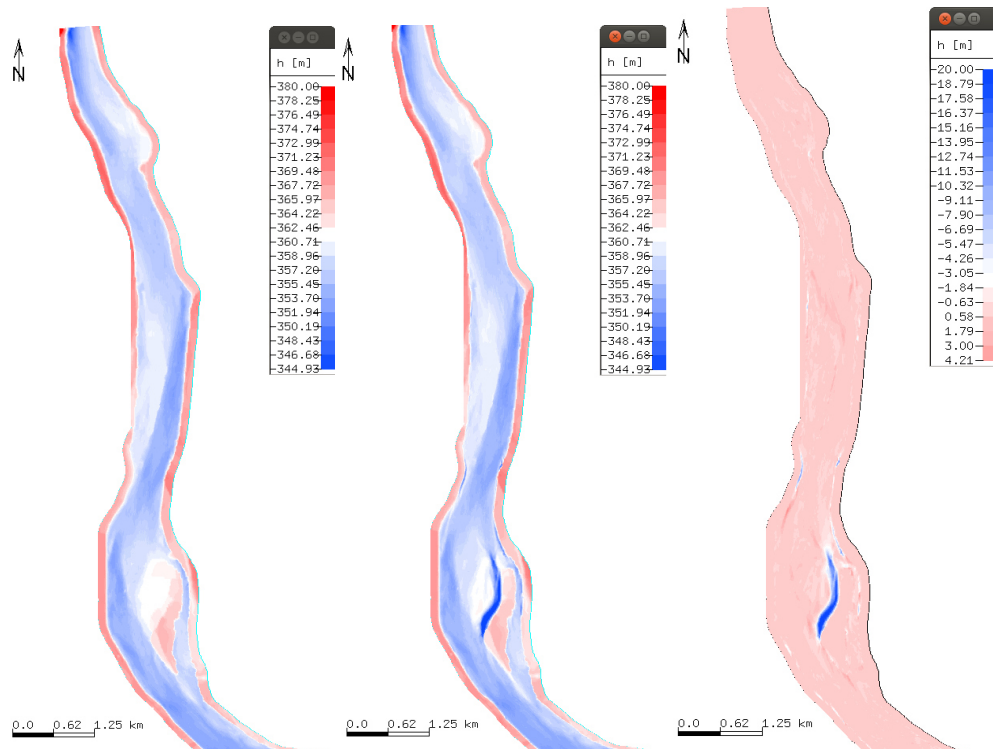


Abbildung 5.19: Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vor-korn2 und Timor3 mit jeweils 6 000 m³/s, Abfluss 30 Tage 2010)

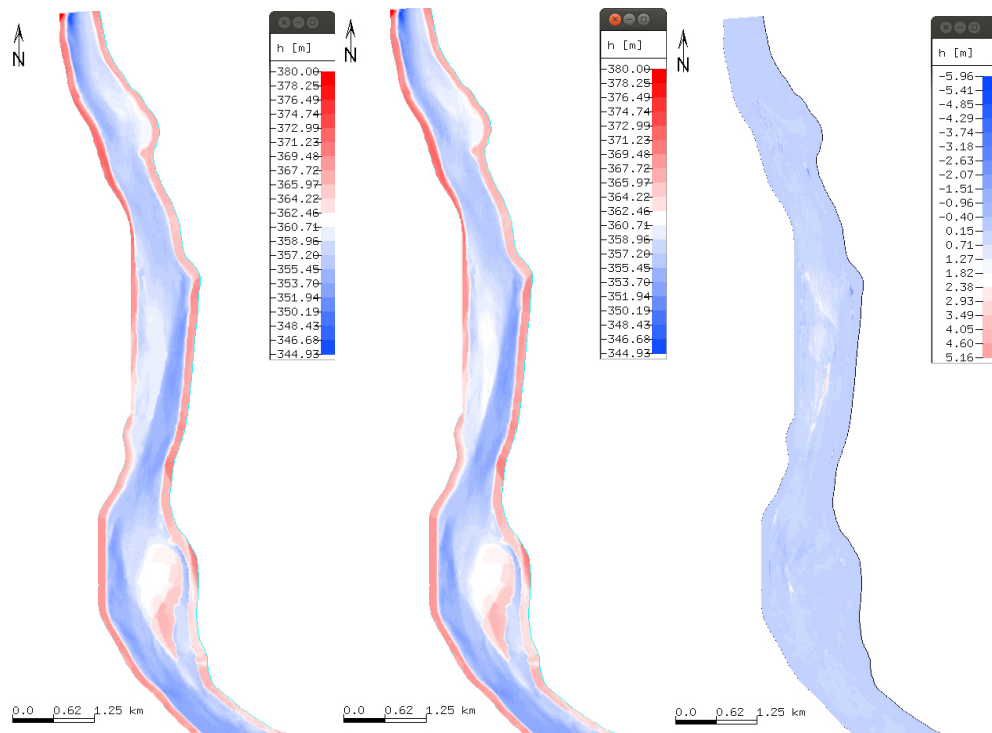


Abbildung 5.20: Links: Ausgangszustand, Mitte: Endzustand, Rechts: Differenzen (Korneinrechnung mit Vor-korn2 und Timor3 mit jeweils 9 000 m³/s, Abfluss 30 Tage 2010)

5.8.2 Entrainment Faktor und Suspensionsfracht

Wie in Kapitel 3.5.3.1 dargestellt, werden ca. 2 km stromabwärts von Chiang Saen regelmäßige Messungen an fünf Punkten im Querschnitt des Flusses zur Bestimmung der Suspensionsfrachtkonzentration durchgeführt. Aus Abbildung 3.9 ist die Lage zu ersehen. In Abbildung 5.21 ist die Topographie des Flussquerschnittes an der Messstelle dargestellt, basierend auf der im Rahmen dieser Arbeit erstellten bathymetrischen Karte. Die Messpunkte sind mit MP gekennzeichnet.

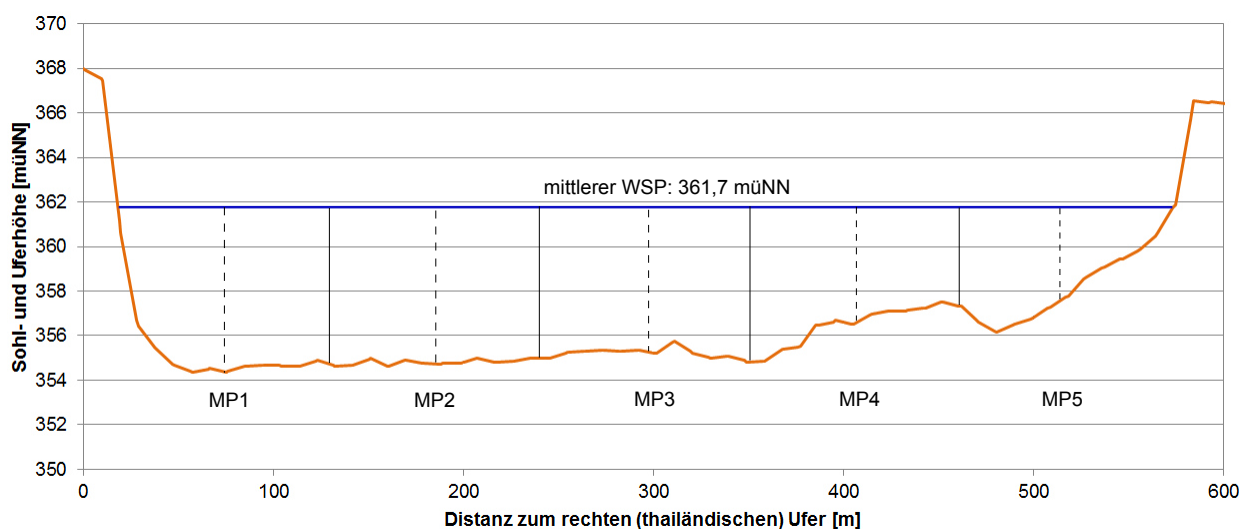


Abbildung 5.21: Flussquerschnitt bei der SSC Messstation

Bei einem mittleren Wasserstand von 361,7 m.ü.NN. ist die Breite des Flusses an dieser Stelle 555 m. Das Auswerteprogramm xf ist in der Lage, fünf Messpunkte gleichzeitig auszuwerten. Diese wurden in einem Abstand von 111 m gesetzt.

Die Simulation mit einem Entrainmentfaktor von EF=1 wurde mit den selben Durchfluss durchgeführt, die auch Basis für die Wasserstandsanalysen in Kapitel 5.4.4 (Abbildung 5.6) waren. Die Ergebnisse der Simulation sind in Abbildung 5.22 dargestellt.

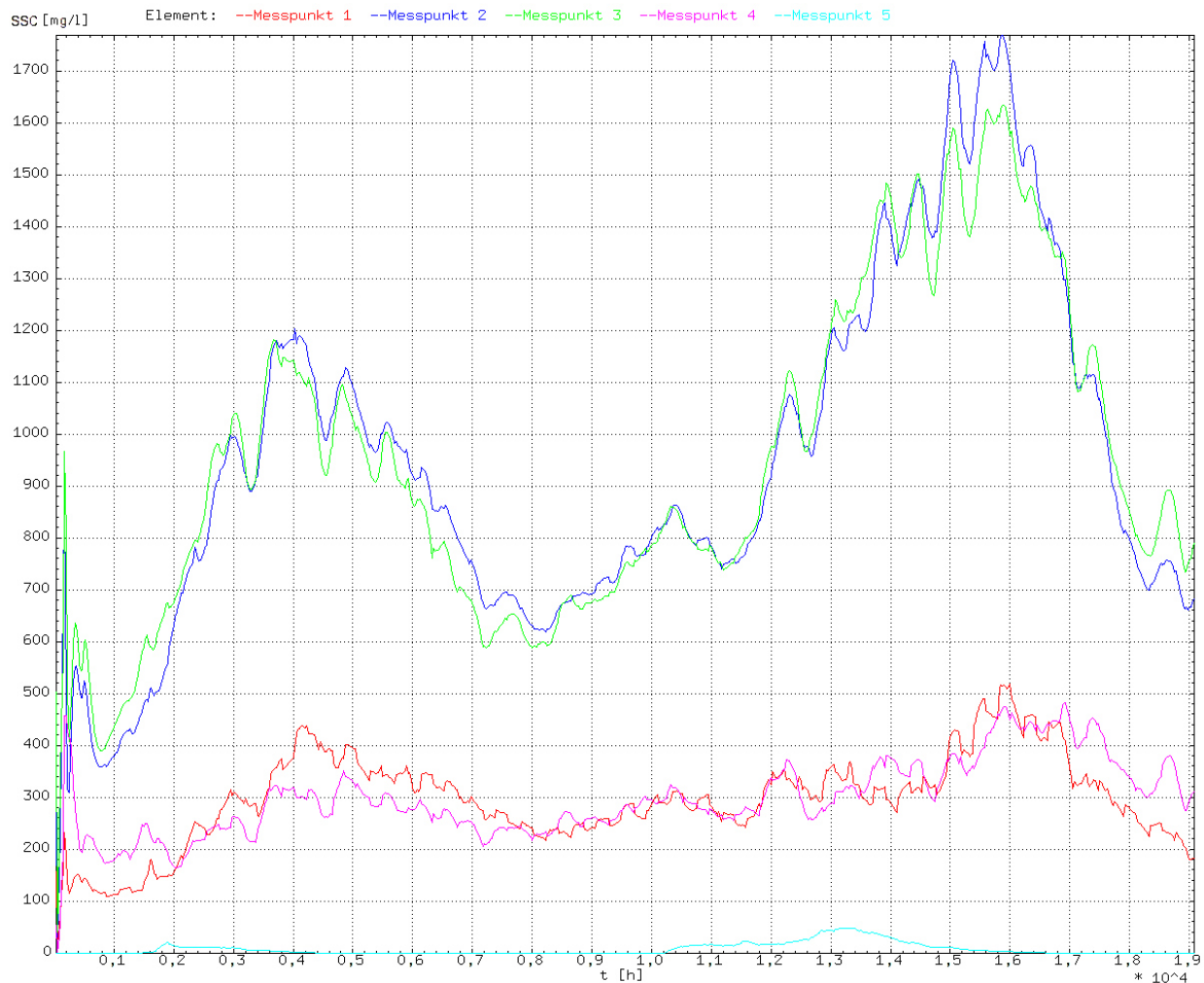


Abbildung 5.22: Ergebnis der SSC Simulation an fünf Auswertepunkten

Für die durchgeführte Simulation über den Zeitraum von 31 Tagen sind die Ergebnisse plausibel. Die Suspensionskonzentration schwankt zwischen 100 mg/l - 1750 mg/l. Zur besseren Evaluierung wurden die Ergebnisse der Simulation mit den Sedimentmessungen des Jahres 2007 verglichen, da in diesem Jahr die Suspensionskonzentrationen, wie in Abbildung 3.24 ersichtlich, in etwa dem Mittel der Jahre 2003 - 2010 entsprechen. Der Vergleich des Abfluss - SSC Verhältnisses basierend auf den Jahrbuchwerten für das Jahr 2007 im Monat September und der Simulation mit Timor zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Trendlinie für die von mit Timor berechneten Suspension lässt sich mit der folgenden Formel darstellen:

$$SSC = 0,0903 \cdot Q + 128,54 \quad (5.14)$$

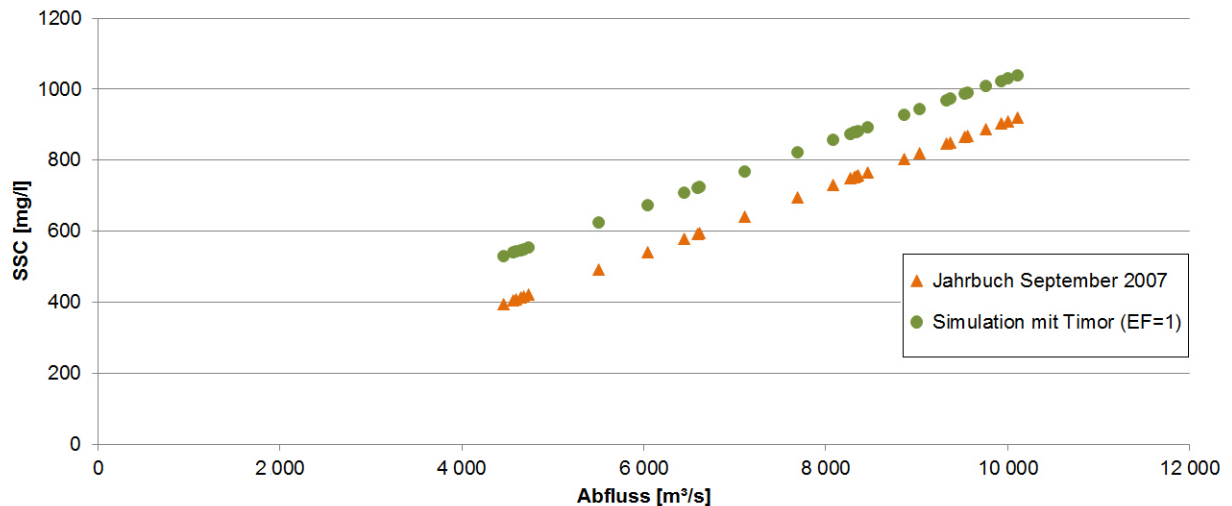


Abbildung 5.23: Abhängigkeit SSC vom Abfluss für Messungen gemäß Jahrbüchern und Simulationen mit Timor

5.8.3 Durchführung und Auswertung der morphodynamischen Simulationen

Wie in Zanke [2008] gezeigt wurde, können die morphologischen Berechnungen mit dem Programm Timor3 mit einem Beschleunigungsfaktor belegt werden, ohne dass signifikante Verluste der Genauigkeit auftreten. Für die folgenden Berechnungen wurde daher mit einem Beschleunigungsfaktor von 25 gerechnet. Basierend auf den Ausführungen in den vorigen Kapiteln wurden die in Tabelle 5.7 aufgeführten Eingabedaten für die morphodynamischen Simulationen mit Timor3 verwendet.

Tabelle 5.7: Eingabedaten für die Morphologischen Simulation mit Timor3

Name	Verwendeter Eingabewert
Faktor für Entrainment	1
Hangabwärtstrieb	5
Morphologischer Faktor	25
Geschiebetransportansatz	Meyer-Peter und Müller
Coriolisbeiwert	0,00005

5.8.3.1 Morphologische Simulation zur Analyse der vorgeschlagenen Flussvertiefungen

Als Grundlage der Simulation dienten die bereits mehrfach erwähnten Abflussdaten vom Jahr 2010. Diese sind in Abbildung 5.6 dargestellt. Die Korneinrechnungen wurden mit Vorkorn2 und Timor3 jeweils mit einem maximalen Durchfluss des Mekong von 9 000 m³/s durchgeführt.

Es wurden zwei unterschiedliche Simulationen durchgeführt. Bei der ersten Simulation wurde die Flusssohle unverändert belassen, bei der zweiten wurde die Flusssohle basierend auf Kapitel 5.6 an den für die Navigation kritischen Stellen vertieft.

Die hydrodynamische Zeit der Eingabedaten beträgt 31 Tage bzw. einen Monat. Mit dem Faktor 25 ergibt dies eine Sohlentwicklungszeit von 25 Monaten. Die Simulation wurde mit einem Desktop-PC (i5-

4670K CPU @ 3.40GHz x 4) durchgeführt, die Rechenzeit betrug für die morphodynamische Simulation 18 Tage.

In Abbildung 5.24 sind die Ergebnisse der beiden Simulation für den Bereich Ban Saeo gegenübergestellt. Die Ergebnisse für beide Simulationen sind sehr plausibel. Aus der Analyse ist ersichtlich, dass es keine Verlandung des ausgebaggerten Bereiches gab. Die beobachteten Anlandungen und Erosionen sind für beide Simulationen sehr ähnlich. Für den modifizierten Flusslauf lassen sich generell leicht höhere Anlandungen und geringfügig kleinere Erosionen beobachten (siehe Abbildung 5.25).

Bei Betrachtung der übrigen modifizierten Flussbereiche lässt sich ebenso beobachten, dass sich keine bis sehr geringfügige Versandung der ausgebaggerten Rinnen ergibt. Für die weiteren modifizierten Flussbereiche sind die Ergebnisse in Anhang E aufgeführt.¹²⁴

5.8.3.2 Morphologische Langzeitsimulation für das Projektgebiet

Für die Langzeitsimulation wurden die Abflussdaten am Pegel Sop Ruak von 21.08.2006 bis 20.08.2007 (365 Tage) als Grundlage genommen (siehe Abbildung 5.26 und vergleiche hierzu auch Kapitel 3.5.2.2). Der Wasserspiegel bei Sop Ruak wird 3 mal täglich abgelesen (6 Uhr, 12 Uhr und 18 Uhr). Basierend darauf wurde mit der ermittelten Abflussformel der Abfluss errechnet. Der minimale Abfluss im betrachteten Zeitraum beträgt $856 \text{ m}^3/\text{s}$, der maximale $11\,769 \text{ m}^3/\text{s}$ und der mittlere $2\,703 \text{ m}^3/\text{s}$.

Außerdem wurden die auf Tagesbasis vorliegenden Jahrbuchdaten für den Abfluss des Mae Kham und des Mae Kok Flusses in den beiden oben genannten Jahren berücksichtigt. Die Korneinrechnungen wurden mit Vorkorn2 und Timor3 ebenso mit einem Durchfluss des Mekong von $9\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, wie in Kapitel 5.8.3.1, durchgeführt, auch wenn der maximale Abfluss fast $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ darüber liegt. Bei den in Kapitel 5.8.1 durchgeführten Simulationen zur Korneinrechnung zeigte sich, dass die Abschätzung der geeigneten Abflüsse zur Korneinrechnung, immer ein Abwägen ist zwischen einem hohen Q und der Gefahr, dass anschließend keine Veränderungen im Flussbett während der Simulation auftreten, und einem zu geringem Q, welches zu der beobachteten Rinnenbildung führt.

Die Berechnung wurde mit einem Beschleunigungsfaktor von 25 durchgeführt. Die hydrodynamische Zeit der Eingabedaten beträgt wie zuvor erwähnt 365 Tage bzw. ein Jahr. Mit dem Faktor 25 ergibt dies eine Sohlentwicklungszeit von 25 Jahren. Wie auch die Simulation zur Analyse der Flussbaumaßnahmen wurden die Berechnungen mit einem Desktop-PC (i5-4670K CPU @ 3.40GHz x 4) durchgeführt. Die Rechenzeit betrug für die morphodynamische Simulation 108 Tage.

Bei der Auswertung der Simulation zeigte sich, dass das Hochwasserereignis nach 40 Tagen (28. September - 1. Oktober 2006) große Auswirkungen hatte. Nur an drei Tagen wurden die $9\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ überschritten und im System zeigte sich sofort die in Kapitel 5.8.1 beschriebene Rinnenbildung. In Abbildung 5.27 sind die Veränderungen vom Ausgangszustand bis zum Tag 58 im Flussbett dargestellt. Die Flussbetteintiefung betrug hier 20 m, dies ist die bei den Eingabedaten vorgegebene maximal Tiefe bis zum unerodierbaren

¹²⁴Die Flusssohle bei Pha Khup (Abbildung B.8) und Gaeng Gai (Abbildung B.8) ist felsig, daher wurde hier keine Modifikation vorgenommen und nur Simulationsergebnisse für das unveränderte System dargestellt.

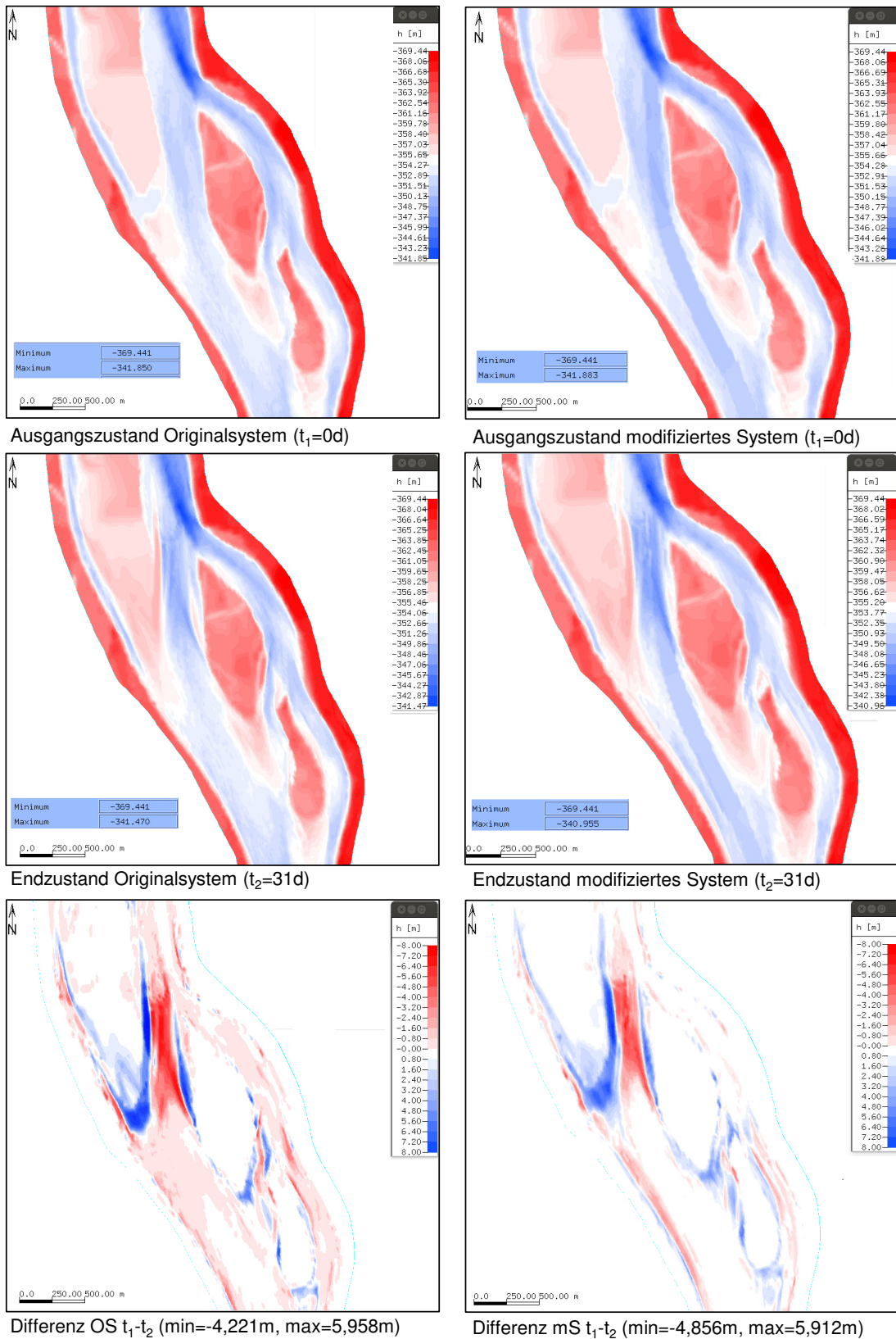
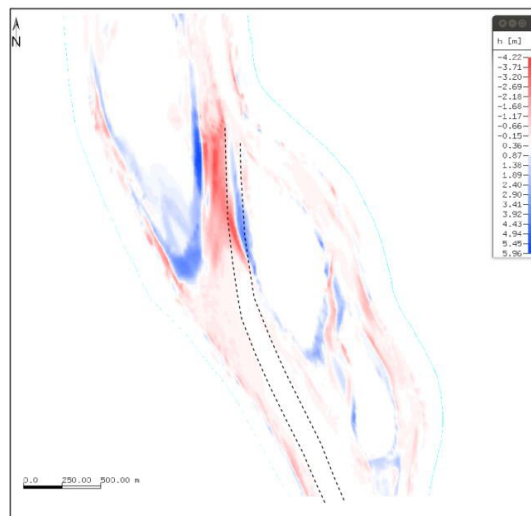
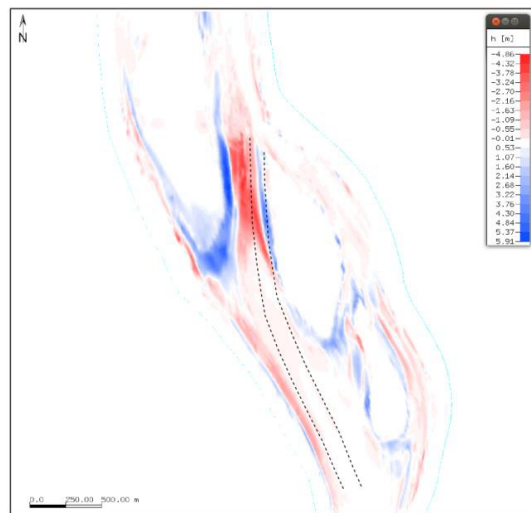


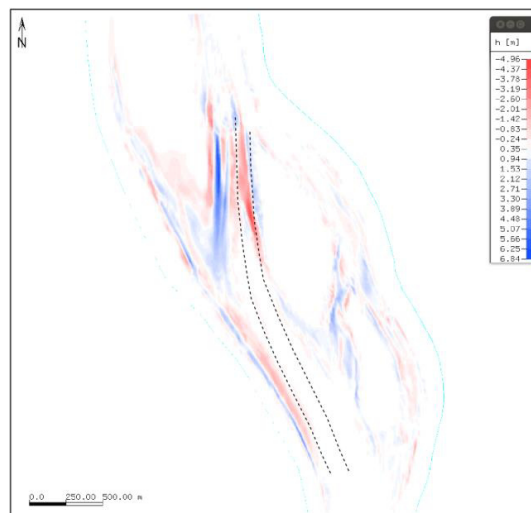
Abbildung 5.24: Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-4,27m, max=5,96m)



Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-4,86m, max=5,91m)



Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-4,96m, max=5,91m)

Abbildung 5.25: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo

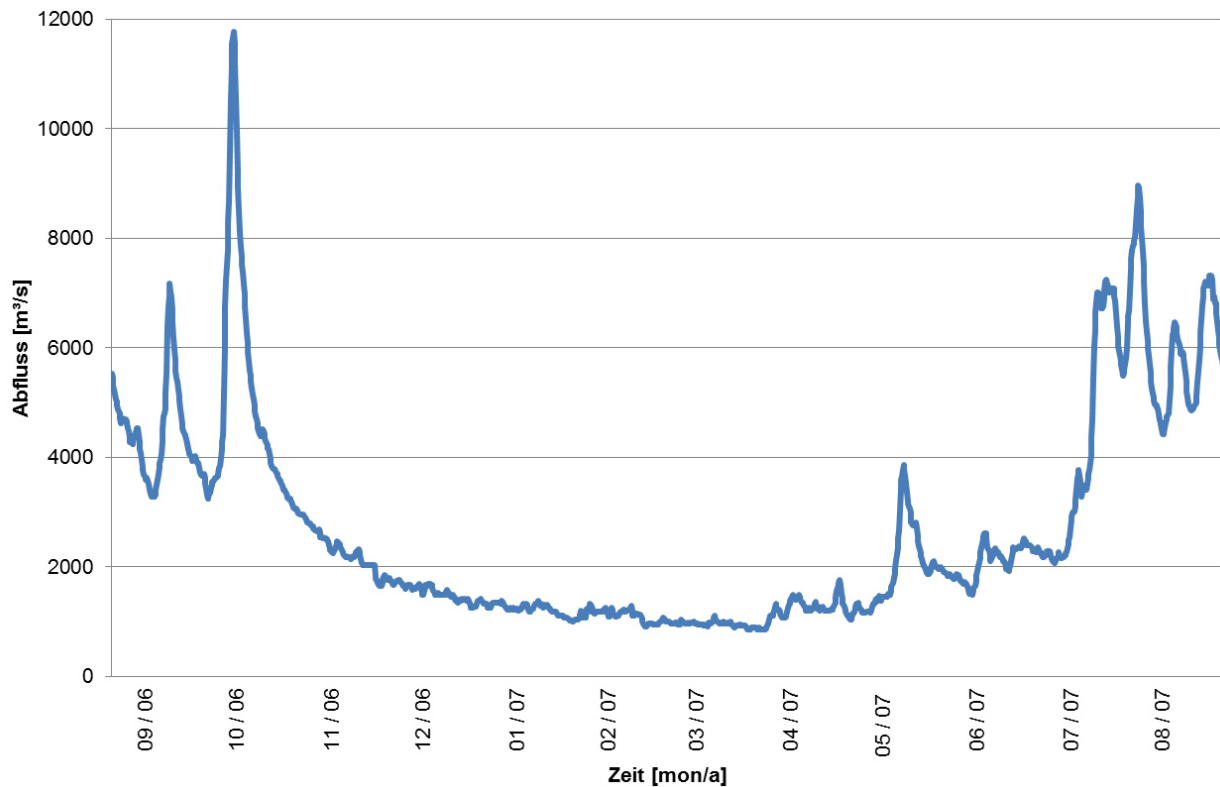


Abbildung 5.26: Abfluss des Mekong vor Fertigstellung der Talsperren im Jahr 2006 - 2007

Bodenhorizont. Abbildung 5.28 zeigt, dass zwischen den Tagen 58 und 365 kaum noch Flussbettveränderungen vorlagen, auch wenn hier an Tag 338 noch ein Abfluss von beinahe 9 000 m³/s erreicht wurde. Dies ist hauptsächlich dadurch bedingt, dass bei den kritischen Flussstellen die maximale Eintiefung des Flussbettes bereits nach dem ersten Hochwasserereignis erreicht wurde.

In Abbildung 5.29 ist der Abschnitt bei Ban Saeo exemplarisch zu verschiedenen Zeitpunkten der Simulation dargestellt.

Hervorgehoben wurde in Abbildung 5.30 ein Detail aus Abbildung 5.29. Hier ist am nördlichen Ufer eine große Sohleneintiefung gut zu sehen. Auf aktuellen Luftbildern ist deutlich zu sehen, dass hier in den letzten Jahren eine starke Ufererosion mit großflächigem Uferabbruch stattgefunden hat.

Die Auswertung der Simulation zeigt die große Sensibilität des Systems für Abflussereignisse, welche die bei der Korneinrechnung berücksichtigten Abflüsse überschreiten, auch wenn dies nur kurzfristig der Fall ist. Auch wenn die von Timor3 simulierten großen Vertiefungen nicht die tatsächlich vorhandenen Tiefen sind, so können hierdurch doch stark Erosion gefährdete Uferbereiche bei einem Hochwasserereignis gut identifiziert werden, wie ein Vergleich mit Abbildung 3.6 in Kapitel 3.3.2 zeigt. Dabei wird auch deutlich, warum der Mekong in diesem Abschnitt so oft seinen Lauf verändert hat und wie sensible das System Fluss generell auf Hochwasserereignisse reagiert.

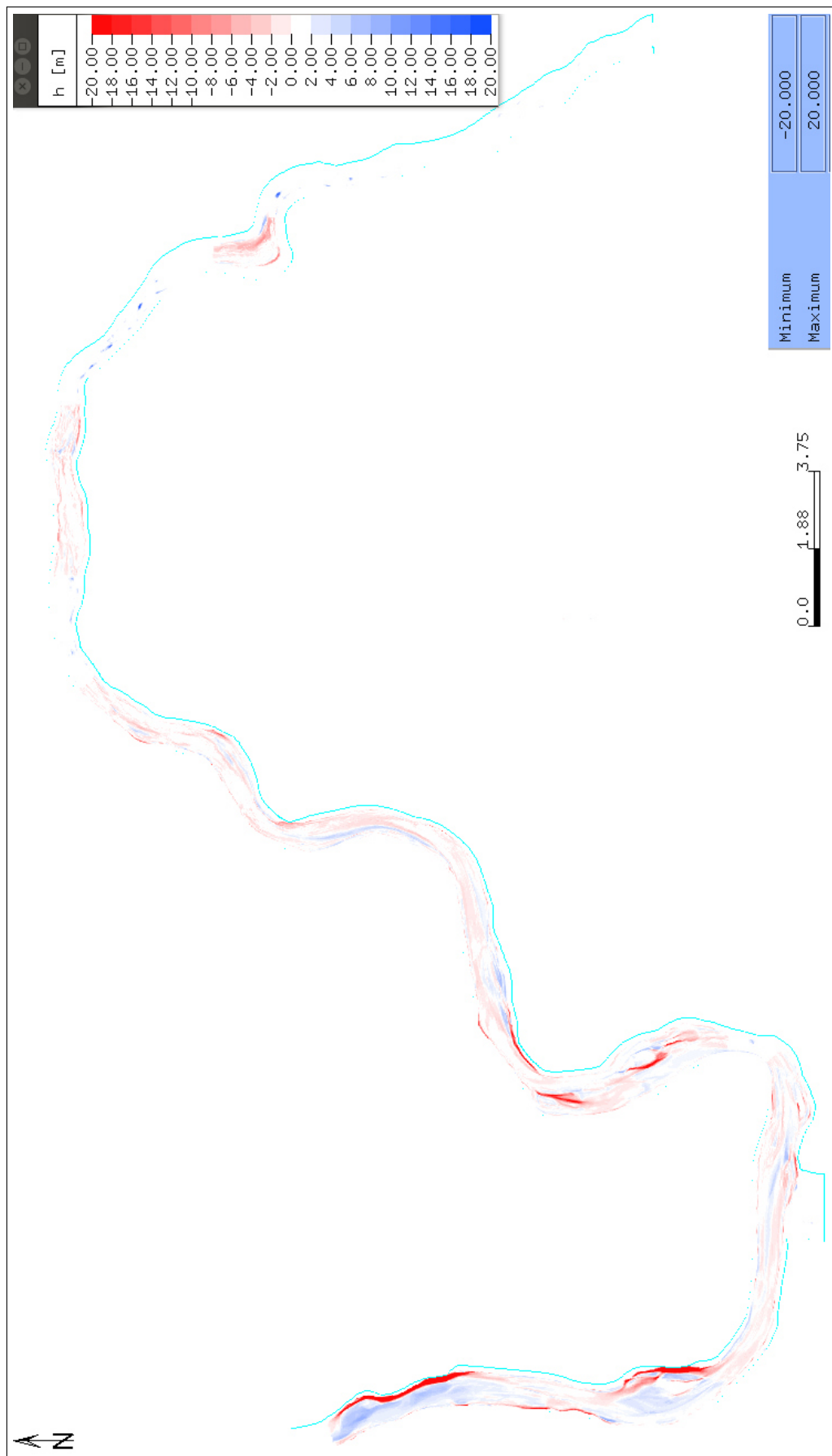


Abbildung 5.27: Differenzen ($t=0$ d - $t=58$ d)

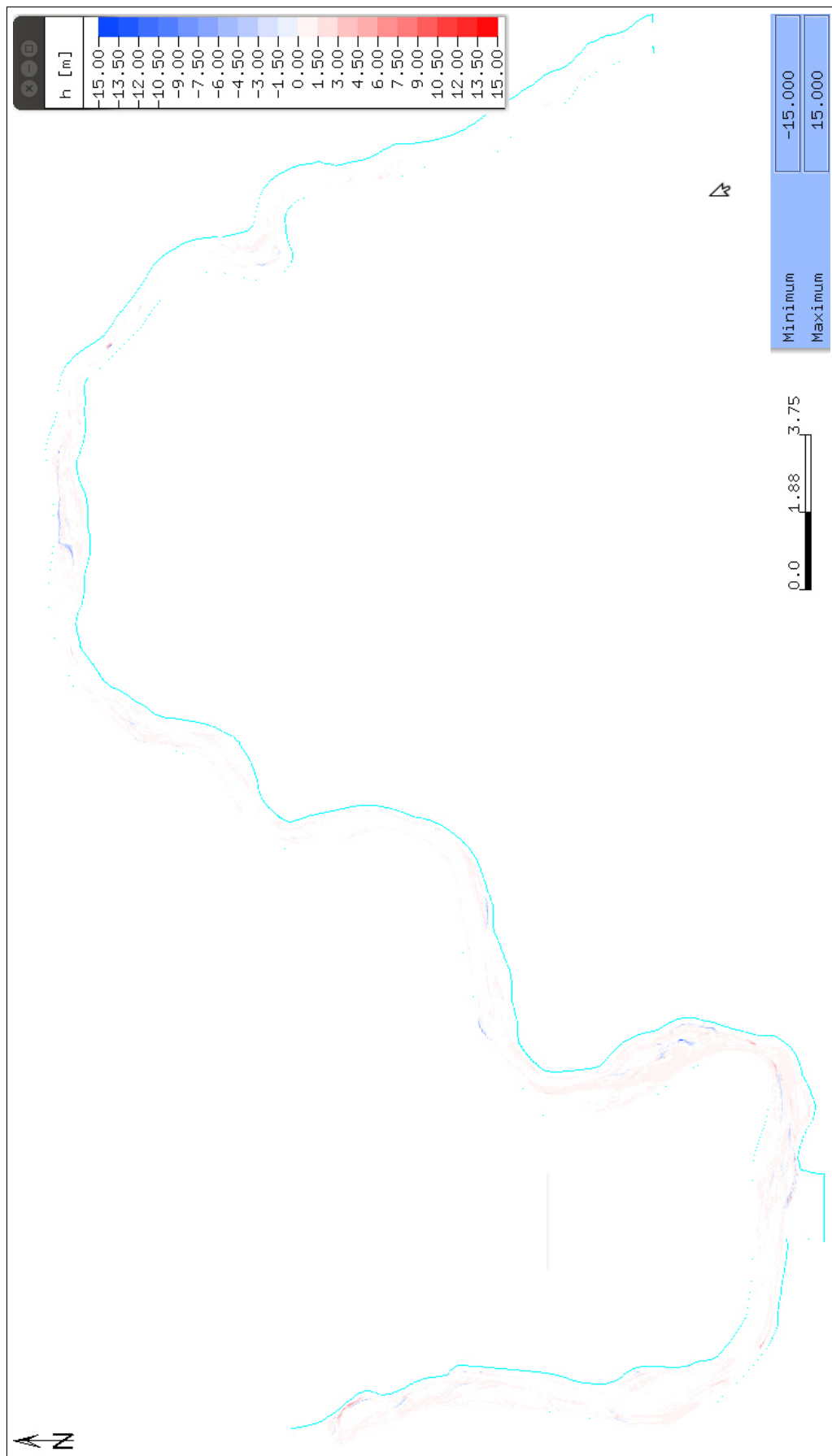


Abbildung 5.28: Differenzen ($t=58$ d - $t=365$ d)

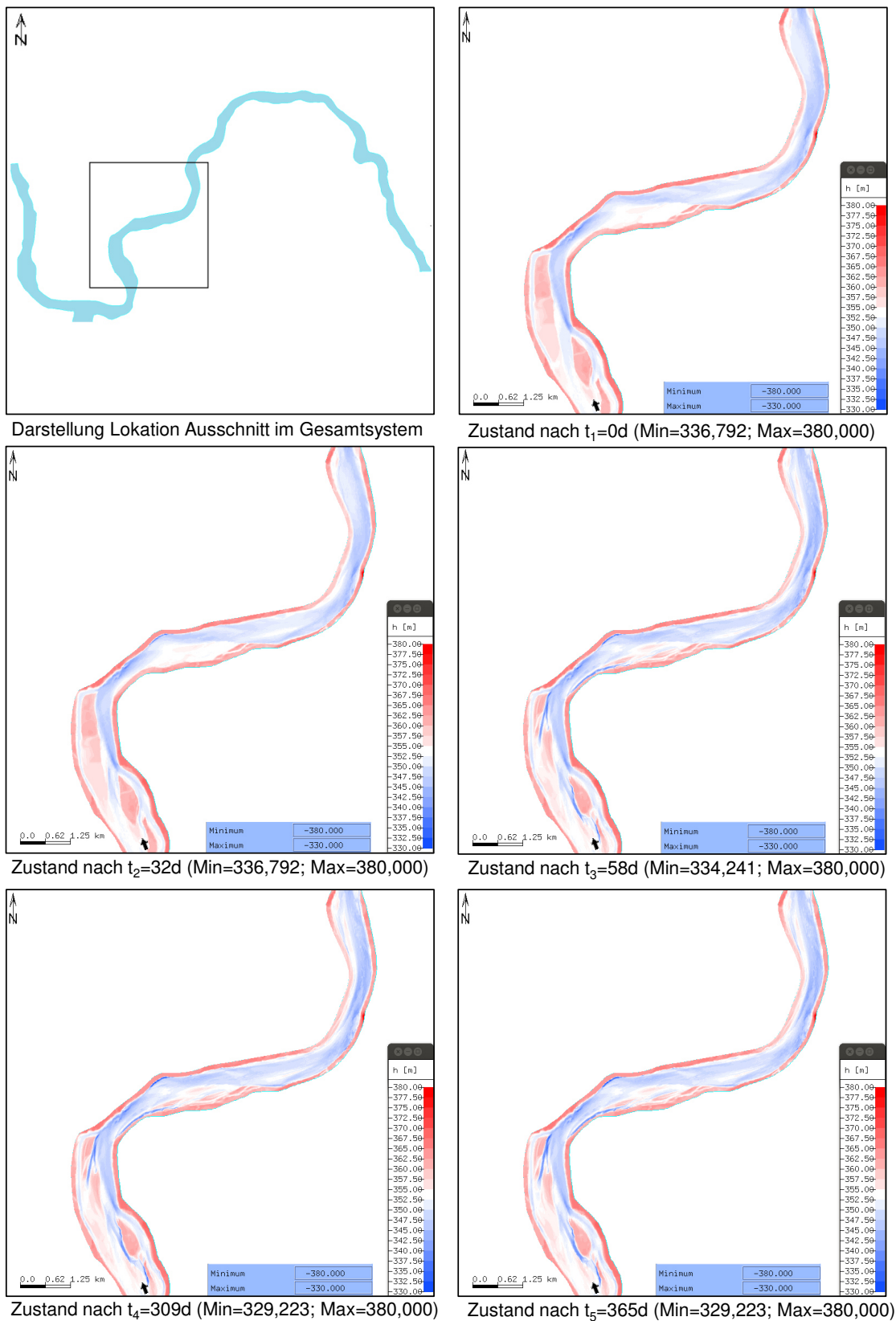


Abbildung 5.29: Simulationsergebnisse bei Ban Saeo

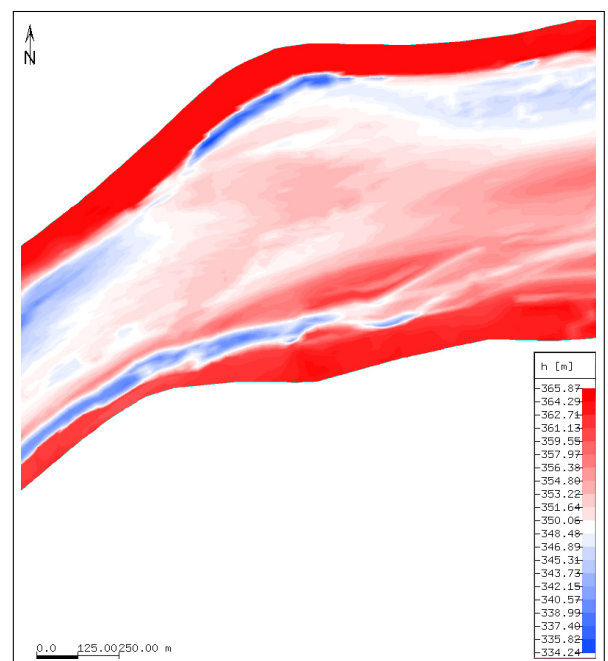
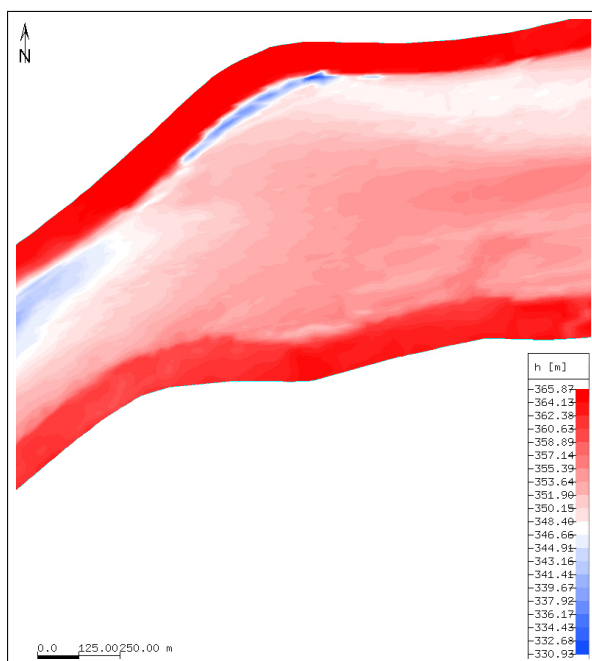


Abbildung 5.30: Ufererosion zwischen Ban Sao und Ban Pong Khong (links vor dem HW Ereignis, rechts nach dem HW Ereignis)

6 Der Mekong als bedeutende internationale Schifffahrtsstraße. Ein Ausblick.

Der Ausbau des Mekong zwischen China und Thailand zu einer wichtigen Schifffahrtsstraße, hat den Fluss und die Region im vergangenen Jahrzehnt einschneidend verändert. Die Veränderung ist vergleichbar mit dem Ende des 19. Jahrhunderts durch die Franzosen begonnenen Flussausbaus von Luang Prabang in Laos, bis zur Flussmündung in Vietnam, der durch die Wirren des zweiten Weltkrieges abrupt beendet und durch die anschließenden regionalen Konflikte nicht wieder mit der notwendigen Zielstrebigkeit aufgenommen wurde. Nach Jahrzehnten der Stagnation, war es ausgerechnet der bisher in den meisten Studien zum Mekong vernachlässigte Abschnitt des Mekong zwischen China und Thailand, der für die internationale Binnenschifffahrt ausgebaut wurde. Wie auch am Beispiel des Main-Donau Kanals zu sehen ist, zeigt sich hier, dass zwischen ersten Anfängen bis zur Implementierung von wichtigen flussbaulichen Maßnahmen viele Jahrzehnte vergehen können.

Durch den Bau mehrerer Staudämme am Oberlauf des Flusses, wurde regulativ massiv in das Abflussregime des Flusses eingegriffen. Nach der kompletten Füllung der Speicherseen in naher Zukunft, wird sich das Abflussverhalten des Flusses stark vom natürlichen Abflussverhalten unterscheiden. Der Betrieb der Dämme in China geschieht bisher ohne Absprache mit den Anrainerstaaten stromabwärts. Pegelraten von der Station in Jinghong werden nur während der Monsunperiode zur Verfügung gestellt. Zum Nutzen der Schifffahrt und auch aus ökologischer Sicht erstrebenswert ist es, den (voraussichtlich) letzten noch ausstehenden Damm der unteren Lancang Dammkaskade, den Ganlanba Damm, zügig zu implementieren. Dieser soll zur Regulierung der starken Abflussschwankungen dienen, welche durch die fast ausschließliche Nutzung der anderen Dämme zur Stromgewinnung verursacht werden. Der Betrieb des Dammes in Jinghong (und später auch der des Ganlanba Dammes) sollte mit den Wasserbehörden in Thailand, Myanmar und Laos abgestimmt werden.

Die Abflussregulierung des Mekong durch die Dämme in China macht den Bau weiterer Dämme stromabwärts wirtschaftlich interessant. Der, trotz großer Widerstände von Naturschützern, begonnene Bau des Xayaburi Dammes ist der erste Schritt zur Implementierung der unteren Mekongdammkaskade. Die durch die Dammkaskade geschaffenen Stauseen werden die jetzigen Navigationshindernisse überfluten und dadurch obsolet machen. Im Abkommen zur nachhaltigen Entwicklung des Mekong, welches von allen Anrainerstaaten im Jahr 1995 unterzeichnet wurde, ist festgelegt, dass alle zukünftigen Dämme im Hauptstrom des Mekong mit Schleusen für die Schifffahrt ausgestattet werden müssen. Die Stauwurzel des geplanten Pak Beng Dammes wird etwa bei der Stadt Chiang Khong sein. Dadurch wäre der Mekongabschnitt zwischen Chiang Saen und Chiang Khong, neben den Khone Wasserfällen, das letzte Hindernis für eine ganzjährige Schifffahrt von China bis zum Meer. Die Erhöhung des Mindestabflusses auf 2 000 m³/s

bei Chiang Saen, ist zwar nach der erfolgten Implementierung der Lancang-Dammkaskade bei entsprechendem Betrieb der Dämme möglich. Wie die Untersuchungen mit dem Programm Timor3, auf Basis der im Rahmen dieser Dissertation generierten bathymetrischen Karte, zeigten, ist dies jedoch nicht ausreichend für eine ungehinderte Navigation im Projektgebiet. Die Durchführung geeigneter strombaulicher Maßnahmen ist daher unabdingbar. Dabei sind nicht nur Sprengungen bei den, in vorhergehenden Untersuchungen bereits identifizierten felsigen Abschnitten notwendig, sondern auch Maßnahmen bei mehreren alluvialen Flussabschnitten. Die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten hydrodynamischen Simulationen haben gezeigt, dass eine Vertiefung und Verbreiterung der Fahrrinne in mehreren alluvialen Bereichen des Flusses, zusätzlich zu den bereits geplanten Sprengungen in den felsigen Abschnitten, notwendig ist. Durch die durchgeführten morphodynamischen Simulationen wurde gezeigt, dass es keine Auswirkungen auf das Schwebstoffregime gibt und die künstlich vertieften Fahrrinnen nicht der Gefahr einer ausbaubedingten Versandung ausgesetzt sind.

Treibende Kraft zum Ausbau des Lancang-Mekong für die Schifffahrt war und ist China. Bedingt ist dies durch wirtschaftliche und politische Interessen. Der 99-jährige Pachtvertrag einer 100 km² großen Wirtschaftszone beim Goldenen Dreieck auf laotischem Gebiet, lässt diese als eine Art Brückenkopf Chinas erscheinen - über 100 km südlich der chinesischen Staatsgrenze. Um die Sicherheit der chinesischen Frachter zu gewährleisten, patrouilliert die chinesische Wasserschutzpolizei, gemeinsam mit Einheiten der Anrainerstaaten, auf dem Mekongabschnitt von der chinesischen Grenze bis zum Goldenen Dreieck. Bei Propagierung der weiteren Entwicklung des Flussausbaus im Mekong zur Verbesserung der Schifffahrt, ist es jedoch notwendig, neben dem geographischen Kontext auch die wirtschaftliche Situation der übrigen Anrainerstaaten zu berücksichtigen.

Es gab in den vergangenen Jahren zwar eine positive Entwicklung des Handels in der Region, und hier insbesondere zwischen China und Thailand, allerdings beschränkt sich der Gütertransport bisher hauptsächlich auf landwirtschaftliche Produkte. Die im Jahr 1994 für das Jahr 2010 prognostizierten 1,5 Mio. Tonnen Fracht und 400 000 Touristen auf dem Lancang-Mekong wurden weit verfehlt. Nur 20 % des erwarteten Frachtvolumens und unter 1% der erwarteten Touristenzahlen wurden erreicht. Die Komplettierung der asiatischen Fernstraße AH3 zwischen China und Thailand, durch die Fertigstellung einer Brücke über den Mekong zwischen Huay Xai und Chiang Khong, führte außerdem zu einer Stagnation des auf dem Mekong transportierten Warenvolumens. Der geplante Bau einer Eisenbahnstrecke vom Nordlaos bis zur Hauptstadt Vientiane, sowie die Anbindung dieser Strecke an das chinesische und thailändische Schienennetz, wird die Entwicklung des Gütertransportes auf dem Mekong auch negativ beeinflussen. Hinzukommt, dass der Ausbau des Flusses bis Chiang Khong für den Handel zwischen China und Thailand keine wirtschaftlichen Vorteile bringen würde. Aus wirtschaftlicher Sicht besteht daher zum jetzigen Zeitpunkt keine dringliche Notwendigkeit, den Ausbau des Flussabschnitt zwischen Chiang Saen und Chiang Khong zu forcieren. Auch wenn zu erwarten ist, dass im Zuge eines Flussausbaus im Abschnitt Chiang Saen bis Chiang Khong auch Maßnahmen weiter stromabwärts bis Luang Prabang implementiert werden, so ist dies jedoch zum jetzigen Zeitpunkt aus wirtschaftlichen Gründen nicht erforderlich. Da jedoch sowohl Laos, als auch Thailand bereits entsprechende Abkommen diesbezüglich unterschrieben haben, wird sich der Flussausbau nicht mehr allzu lange verzögern lassen.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Schifffahrt auf dem Mekong ist die Entstehung von Wirtschaftszentren entlang des Flusses, welche bisher kaum vorhanden sind. Die konkret geplanten Maßnahmen und Bauvorhaben im Mekong und die dadurch zu erwartenden positiven Auswirkungen für die Schifffahrt, können als Katalysator für die weitere wirtschaftliche Entwicklung der am Mekong gelegenen Städte und Ortschaften dienen. Unter Berücksichtigung der gegenwärtigen wirtschaftlichen Situation und der zu antizipierenden langen Implementierungszeiträume der geplanten Dämme, wird noch einige Zeit vergehen, bis der Mekong eine bedeutende internationale Schifffahrtsstraße ist.

Anhang

Anhang A

Entwicklung des Mekongverlaufes bei Chiang Saen

Wie in Kapitel 3.3.1 dargestellt, hat sich der Verlauf des Mekong bei Chiang Saen über die Jahrhunderte immer wieder verändert. In dem Luftbild von 1954 (siehe Abbildung A.1) sind die Altarmbereiche des Mekong, des Mae Khams und des Mae Koks gut zu erkennen. In A.2 sind diese Bereiche für den Mekong und den Mae Kok blau gekennzeichnet. Ein Verlauf des Mekong im Mündungsbereich des Mae Kok erscheint ebenso gut möglich. Dargestellt sind auch die Stadtmauern/Stadtgräben der Städte Chiang Saen (braun, rechtes Ufer, der im heutigen Verlauf des Mekong befindliche Teil der Stadtmauer ist antizipiert), Chiang Saen Noi (rot, rechtes Ufer) und einer weiteren Stadt (grün, linkes Ufer), eventuell Suwana Khom Kham.

Die Stadt Chiang Saen wurde im Jahre 1329 von König Saen Phu, dem Herrscher über das Lannakönigreich, erbaut (Chroniken der Stadt Chiang Mai, siehe 3.8V und 3.8R in Penth [1996], sowie Seite 95f in Wyatt u. Wichienkeo [1998]). Laut den Chroniken von Chiang Mai wurde ein Stadtgraben an drei Seiten der Stadt ausgehoben, an der östlichen Seite der Stadt fungierte der Mekong als Stadtgraben. Die Dimensionen der Stadt werden mit 1 500 x 700 Wa angegeben. Heutzutage entspricht ein Wa genau 2 m und dies würde bedeuten, dass die Stadt einen Grundriss von 3 000 x 1 400 m hatte. Dies korreliert jedoch nicht mit den heutigen Dimensionen der Altstadt von Chiang Saen, welche etwa 2 400 x 1 000 m sind. Ein Vergleich mit den Maßen der Stadt Chiang Mai, deren Bau auch in den Chroniken von Chiang Mai erwähnt wird (siehe 2.11R in Penth [1996], sowie Seite 76 in Wyatt u. Wichienkeo [1998]), sind hier aufschlussreich. Hier wird berichtet, dass die Stadt Chiang Mai mit einem Grundriss von 1 000 x 900 Wa erbaut wurde. Der heutige Grundriss der Altstadt ist quadratisch mit etwa 1 600 x 1 600 m, dies bedeutet ein damaliges Wa ist etwa 1.6 m. Auf Chiang Saen übertragen entspricht dies einem Grundriss von 2 400 x 1 100 m. Dies zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Ausführungen in Kapitel 3.3.1 und den heutigen Dimensionen der Altstadt von Chiang Saen (siehe auch Abbildung A.3).

In den Abbildung A.3 - A.7 ist der Verlauf des Mekong und des Mae Khams für sechs verschiedene Zeitpunkte dargestellt, von vor dem Jahr 1926 bis 2014. Da in Abbildung A.3 der vermutete Verlauf des Mekong vor 1926 dargestellt ist, sind die tatsächlichen Verläufe des Mekong und des Mae Khams von 1954 in gestrichelten Linien zusätzlich enthalten. Die Insel Don Thaen ist hier durch den weiter östlichen Verlauf des Mekong innerhalb der Stadt lokalisiert und daher ebenso gestrichelt dargestellt.



Abbildung A.1: Luftbildaufnahme von 1954

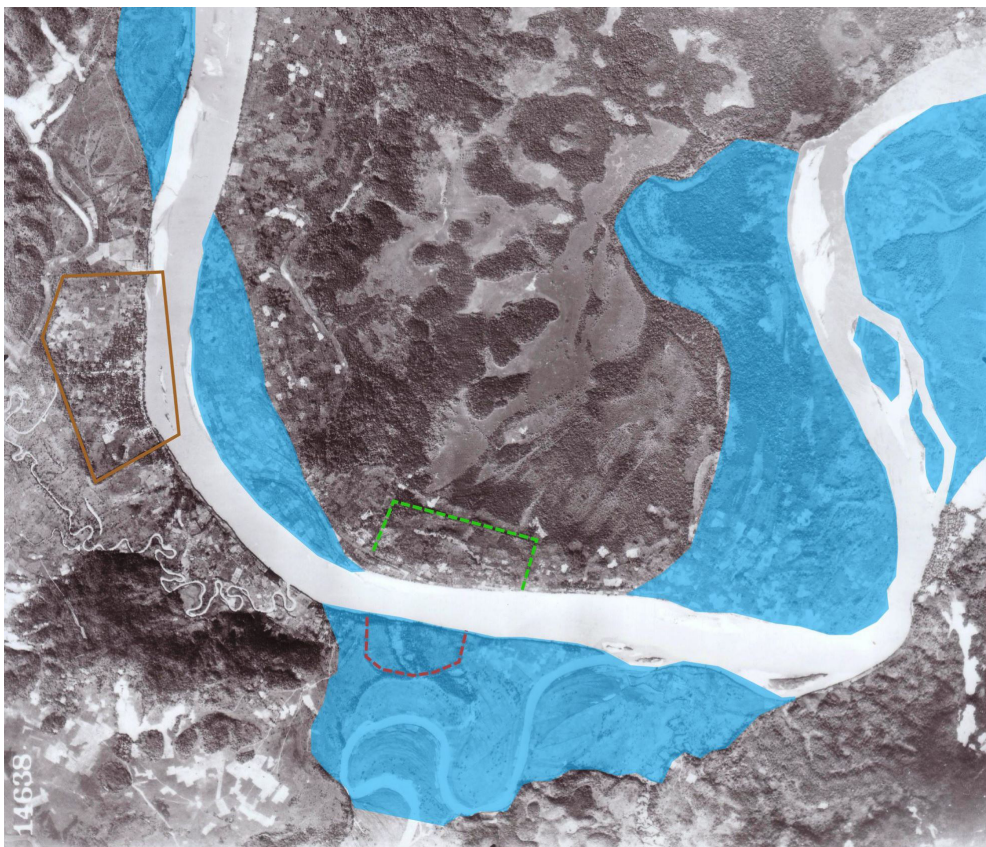


Abbildung A.2: Luftbildaufnahme von 1954 mit farbig markierten Altarmbereichen

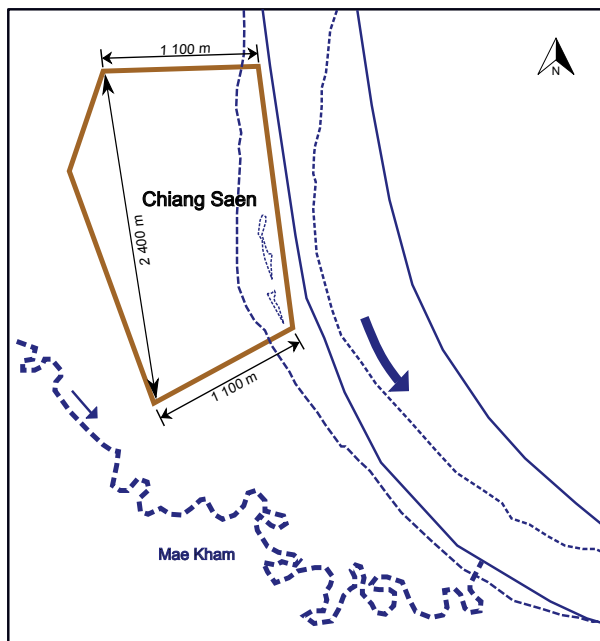


Abbildung A.3: Mekongabschnitt bei Chiang Saen vor 1926 (gestrichelte Verläufe Jahr 1954)

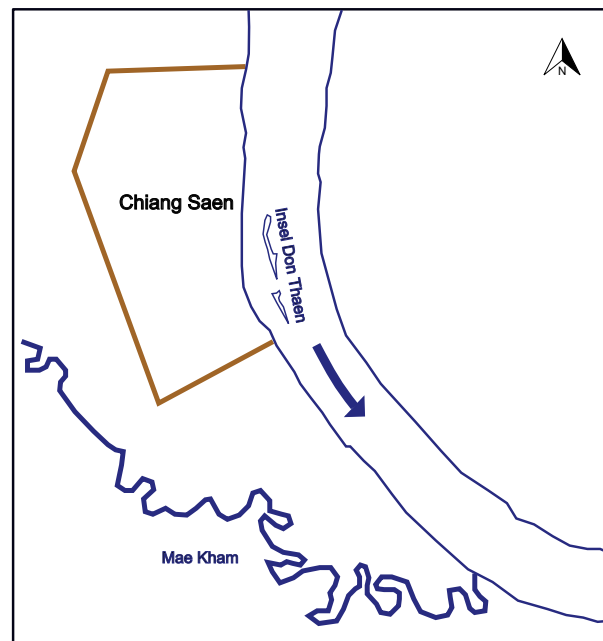


Abbildung A.4: Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 1954

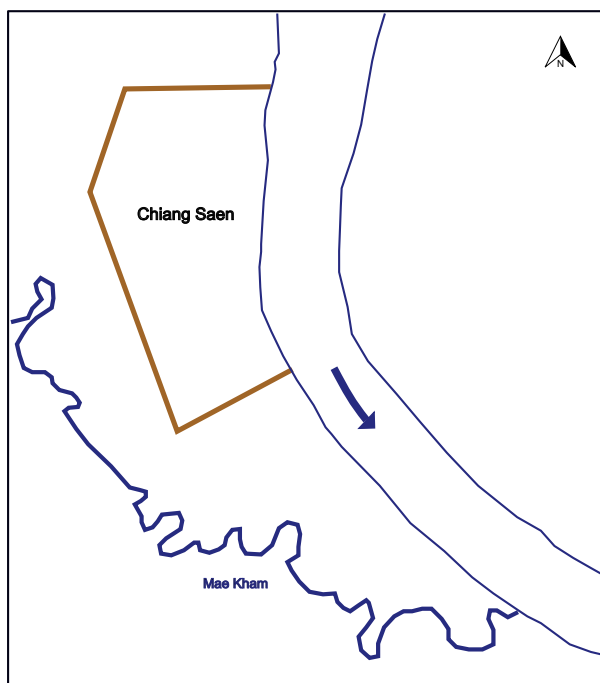


Abbildung A.5: Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 1977

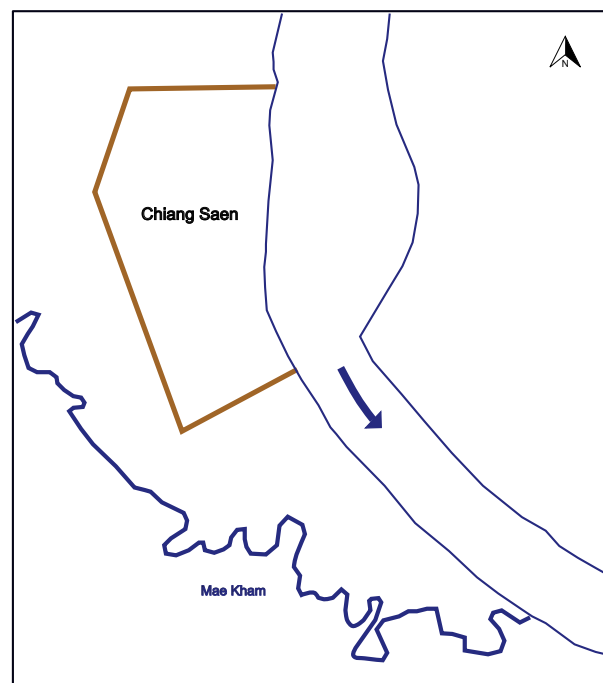


Abbildung A.6: Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2002

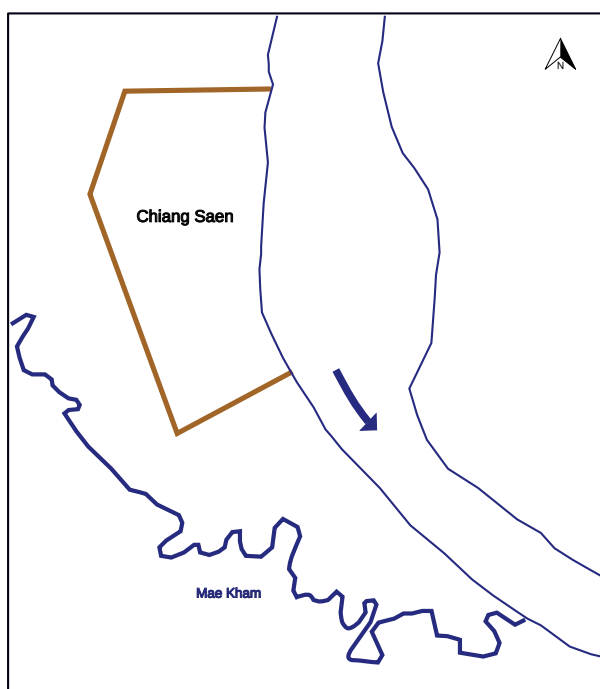


Abbildung A.7: Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2008

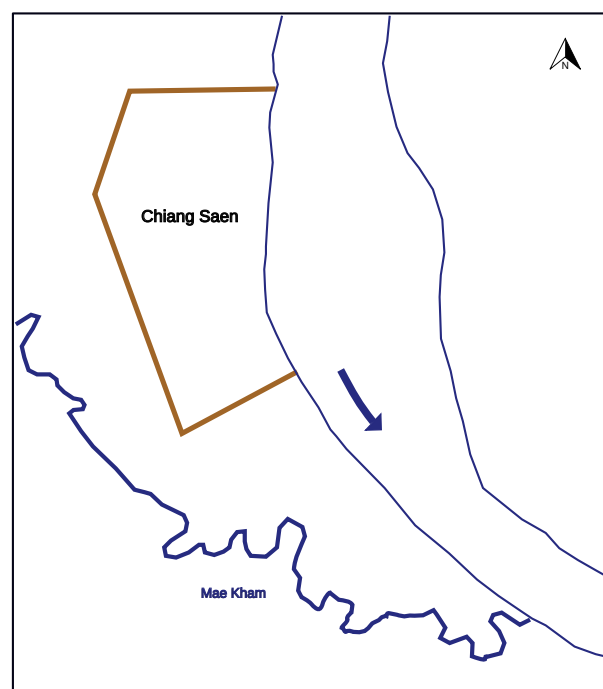


Abbildung A.8: Mekongabschnitt bei der Stadt Chiang Saen im Jahr 2014

Anhang B

Korrigierte Abflusswerte für die Jahre 2006 und 2008

Die Abflussdaten für den Mekong wurden von der thailändischen Wasserbehörde DWRM zur Verfügung gestellt. Die Daten der Jahre 2006 und 2008 zeigen signifikante Inkonsistenzen (Kapitel 3.5.1.2, Abbildung 3.10). Daher wurden die Abflussdaten dieser beiden Jahre mit Hilfe einer gemittelte Abflusskurve der Jahre 2000 - 2010, basierend auf den gemessenen Wasserständen, neu berechnet (vergleiche Abbildung 3.11). Die gemittelte Abflusskurve kann mit der folgenden Formel beschrieben werden:

$$Q = 147,89x^2 + 25,878x + 434,5 \quad (\text{B.1})$$

In der folgenden Tabelle B.1 sind einige Hauptwerte der Jahresreihen angegeben, in Abbildung B.1, sowie in den Tabellen B.2 - B.5, sind die ursprünglichen und die modifizierten Abflussdaten dargestellt.

Tabelle B.1: Hauptwerte der Jahresreihen bei der Pegelstation Chiang Saen

Zeitraum [a]	Datengrundlage [-]	NQ [m³/s]	HQ [m³/s]	MQ [m³/s]	Jahresabfluss [Mio. m³/a]
2006	DWRM	404	29 300	2 901	91 489
2006	Gleichung B.1	608	14 629	2 580	81 371
2008	DWRM	1 070	22 200	5 279	166 924
2008	Gleichung B.1	748	17 452	3 419	108 116

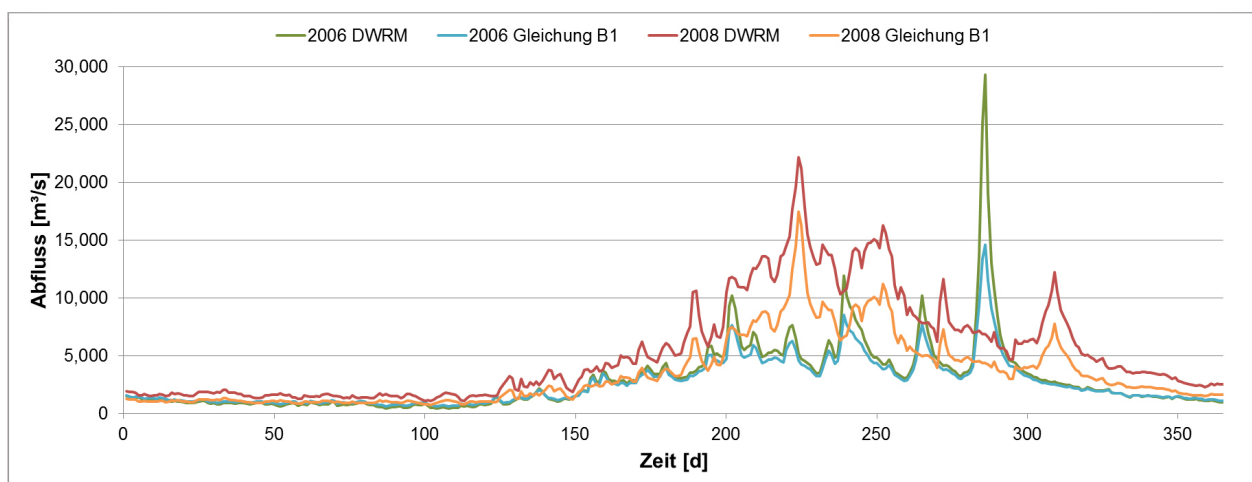


Abbildung B.1: Abflussganglinien der Jahre 2006 und 2008

Tabelle B.2: Jahrbuchabflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2006 in m³/s

Wochentag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	1 500	803	790	588	809	1 960	3 410	5 010	7 590	4 060	2 860	1 530
2	1 410	924	716	593	829	2 000	3 190	5 260	7 210	3 750	2 840	1 550
3	1 330	889	938	481	1 320	1 910	3 070	5 260	6 390	3 640	2 770	1 560
4	1 370	882	924	455	1 370	3 030	3 040	5 480	5 730	3 280	2 710	1 420
5	1 360	917	856	538	1 050	3 370	3 090	5 410	5 170	3 230	2 720	1 480
6	1 280	842	704	698	764	2 660	3 170	5 110	4 850	3 510	2 640	1 540
7	1 150	896	777	758	809	2 760	3 540	4 990	4 850	3 600	2 590	1 470
8	1 240	910	796	746	842	3 730	3 520	6 440	4 600	3 810	2 530	1 420
9	1 240	903	790	734	1 020	3 520	3 700	7 440	4 220	4 500	2 460	1 420
10	1 250	816	1 010	822	1 150	2 980	4 000	7 650	4 230	8 720	2 480	1 390
11	1 180	777	980	647	1 290	2 800	4 080	6 490	4 660	13 600	2 340	1 340
12	1 280	842	681	509	1 290	2 800	4 350	5 190	4 170	25 100	2 290	1 400
13	1 270	903	722	455	1 190	2 680	5 730	4 690	3 600	29 300	2 250	1 420
14	1 150	896	809	429	1 180	2 820	5 840	4 560	3 400	19 000	2 050	1 240
15	1 020	910	722	459	1 350	2 860	5 090	4 350	3 210	13 000	2 110	1 410
16	1 020	777	771	563	1 570	2 560	5 220	4 170	3 040	10 800	2 290	1 430
17	1 080	758	777	468	1 840	2 820	4 950	3 760	3 100	8 350	2 160	1 360
18	995	835	849	429	2 160	2 870	4 890	3 470	3 510	6 730	2 010	1 240
19	1 020	784	910	455	1 910	2 810	5 350	3 520	4 150	5 870	1 980	1 210
20	966	675	973	455	1 540	3 380	9 290	4 290	5 190	5 090	1 970	1 200
21	917	593	917	486	1 260	3 610	10 200	5 260	7 590	4 600	1 970	1 210
22	903	670	758	652	1 220	3 780	9 070	6 340	10 200	4 480	2 050	1 250
23	903	752	698	620	1 140	4 100	7 410	5 890	8 450	4 370	2 110	1 150
24	980	816	698	692	1 020	3 780	5 770	4 810	6 900	4 060	1 810	1 140
25	1 010	903	593	625	1 100	3 400	5 480	5 090	6 060	3 760	1 730	1 060
26	1 080	869	553	553	1 230	3 420	5 710	7 010	5 070	3 580	1 760	1 080
27	1 090	670	519	620	1 270	3 410	5 890	11 900	4 730	3 480	1 720	1 110
28	882	758	404	771	1 170	4 000	7 060	10 200	4 390	3 330	1 620	1 070
29	829		472	758	1 400	4 350	6 760	9 220	4 130	3 190	1 470	1 040
30	876		538	698	1 490	3 640	5 610	8 890	4 170	3 090	1 380	959
31	771		519		1 540		4 910	8 090		2 950		938

Tabelle B.3: Modifizierte Abflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m³/s

Wochentag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	1 534	944	933	761	949	1 898	3 152	4 459	6 206	3 711	2 645	1 558
2	1 454	1 047	870	765	966	1 936	2 953	4 647	5 968	3 451	2 634	1 574
3	1 386	1 018	1 059	671	1 378	1 861	2 844	4 647	5 438	3 359	2 566	1 582
4	1 424	1 012	1 047	649	1 424	2 808	2 820	4 806	4 985	3 039	2 510	1 470
5	1 416	1 041	989	718	1 161	3 114	2 868	4 758	4 584	2 990	2 521	1 517
6	1 348	977	860	855	911	2 466	2 941	4 537	4 337	3 241	2 444	1 566
7	1 241	1 023	922	906	949	2 555	3 267	4 444	4 337	3 319	2 401	1 509
8	1 312	1 035	938	895	977	3 438	3 254	5 473	4 142	3 505	2 347	1 470
9	1 312	1 029	933	885	1 135	3 254	3 412	6 114	3 837	4 068	2 295	1 470
10	1 327	955	1 122	960	1 241	2 761	3 655	6 243	3 851	6 871	2 305	1 439
11	1 269	922	1 096	811	1 356	2 589	3 725	5 508	4 186	9 287	2 201	1 401
12	1 348	977	840	694	1 356	2 589	3 952	4 599	3 795	13 438	2 161	1 447
13	1 341	1 029	875	649	1 276	2 477	4 985	4 216	3 319	14 629	2 130	1 462
14	1 241	1 023	949	628	1 269	2 611	5 067	4 112	3 139	11 441	1 974	1 312
15	1 128	1 035	875	653	1 408	2 645	4 521	3 952	2 977	9 037	2 022	1 454
16	1 135	922	917	739	1 591	2 369	4 615	3 795	2 820	7 967	2 161	1 478
17	1 180	906	922	660	1 807	2 611	4 413	3 465	2 880	6 658	2 061	1 416
18	1 109	971	983	628	2 061	2 657	4 367	3 203	3 241	5 665	1 945	1 319
19	1 128	927	1 035	649	1 861	2 600	4 710	3 254	3 781	5 084	1 917	1 291
20	1 084	835	1 090	649	1 566	3 127	7 187	3 894	4 599	4 521	1 908	1 283
21	1 041	765	1 041	675	1 334	3 332	7 654	4 647	6 206	4 142	1 908	1 291
22	1 029	830	906	816	1 298	3 478	7 067	5 404	7 675	4 053	1 974	1 327
23	1 029	901	855	788	1 235	3 739	6 095	5 100	6 715	3 966	2 022	1 241
24	1 096	955	855	850	1 135	3 478	5 018	4 306	5 771	3 711	1 780	1 235
25	1 122	1 029	765	792	1 200	3 139	4 806	4 521	5 217	3 465	1 718	1 167
26	1 180	1 000	731	731	1 305	3 165	4 968	5 842	4 506	3 306	1 744	1 180
27	1 187	830	702	788	1 341	3 152	5 100	8 526	4 246	3 216	1 709	1 207
28	1 012	906	608	917	1 262	3 655	5 878	7 675	3 981	3 076	1 624	1 174
29	966		664	906	1 447	3 952	5 682	7 147	3 767	2 953	1 509	1 148
30	1 006		718	855	1 525	3 359	4 903	6 968	3 795	2 868	1 431	1 078
31	917		702		1 566		4 382	6 505		2 738		1 059

Tabelle B.4: Jahrbuchabflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m³/s

Wochentag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	1 920	1 790	1 570	1 490	1 560	3 180	5 420	13 600	14 000	7 920	7 820	3 440
2	1 870	2 050	1 520	1 310	1 510	3 780	5 010	13 400	12 600	7 530	8 800	3 500
3	1 850	2 010	1 420	1 460	1 470	3 850	5 090	11 800	14 000	7 200	9 380	3 530
4	1 810	1 820	1 450	1 650	1 580	3 610	5 210	11 400	14 700	7 200	10 600	3 610
5	1 550	1 770	1 490	1 700	2 100	3 730	6 140	12 000	14 800	7 050	12 200	3 580
6	1 530	1 780	1 420	1 570	2 510	4 050	6 980	13 600	15 100	7 430	10 500	3 520
7	1 660	1 670	1 630	1 490	2 810	3 640	7 530	13 800	14 900	7 630	8 940	3 530
8	1 530	1 680	1 690	1 310	3 230	3 780	10 500	14 500	14 300	7 380	8 420	3 480
9	1 520	1 520	1 690	1 200	3 060	4 340	10 600	15 300	16 300	6 980	7 820	3 400
10	1 550	1 480	1 560	1 100	2 080	4 310	8 450	17 700	15 600	7 010	7 300	3 340
11	1 570	1 480	1 500	1 130	1 990	3 950	7 100	19 600	14 200	7 130	6 560	3 390
12	1 690	1 370	1 510	1 070	2 970	4 070	6 330	22 200	13 600	6 860	5 910	3 320
13	1 620	1 340	1 420	1 200	2 310	4 180	5 760	21 200	11 100	6 840	5 720	3 180
14	1 470	1 340	1 310	1 360	2 290	5 030	6 650	17 800	9 920	6 650	5 170	3 000
15	1 560	1 370	1 390	1 520	2 670	4 820	7 710	15 500	10 900	6 230	5 010	3 120
16	1 770	1 540	1 320	1 700	2 470	4 870	6 670	14 400	10 200	7 050	5 050	2 820
17	1 670	1 580	1 530	1 770	2 750	4 780	6 580	13 500	8 530	5 870	4 840	2 740
18	1 730	1 620	1 390	1 750	2 470	4 270	7 480	12 900	9 190	5 630	4 720	2 610
19	1 690	1 640	1 300	1 690	2 820	4 310	10 500	13 000	8 530	5 660	4 470	2 590
20	1 560	1 590	1 350	1 590	3 200	5 510	11 700	14 600	8 370	5 400	4 680	2 500
21	1 560	1 730	1 360	1 420	3 750	6 190	11 800	14 200	8 050	4 700	4 760	2 440
22	1 500	1 640	1 370	1 150	3 690	5 470	11 600	13 700	7 790	4 680	4 090	2 390
23	1 490	1 570	1 330	1 080	2 970	4 890	11 000	13 700	7 820	6 370	3 900	2 450
24	1 690	1 590	1 310	1 330	3 310	4 700	10 900	12 500	7 870	6 030	3 880	2 370
25	1 840	1 370	1 490	1 520	3 420	4 590	10 900	11 100	7 530	6 000	3 930	2 270
26	1 860	1 380	1 740	1 540	2 770	4 440	10 700	10 300	7 330	6 280	4 070	2 410
27	1 840	1 260	1 530	1 500	2 210	5 090	11 900	10 600	6 210	6 190	4 050	2 570
28	1 840	1 270	1 650	1 530	2 010	5 680	12 600	10 800	9 670	6 390	3 830	2 480
29	1 770	1 500	1 560	1 540	1 860	6 070	12 500	12 400	11 600	6 420	3 600	2 540
30	1 710		1 500	1 590	2 340	5 890	13 000	14 000	9 670	6 070	3 600	2 500
31	1 880		1 470		2 900		13 600	14 300		6 740		2 510

Tabelle B.5: Modifizierte Abflussdaten des Mekong bei der Pegelstation Chiang Saen im Jahr 2008 in m³/s

Wochentag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	1 241	1 167	1 029	983	1 023	2 032	3 465	8 836	9 173	5 051	4 985	2 191
2	1 214	1 319	1 000	885	994	2 412	3 203	8 614	7 967	4 806	5 612	2 232
3	1 200	1 298	944	966	971	2 455	3 254	7 408	9 196	4 599	5 842	2 253
4	1 174	1 180	960	1 078	1 035	2 305	3 332	7 127	9 728	4 599	6 581	2 305
5	1 018	1 154	983	1 109	1 356	2 379	3 923	7 613	9 869	4 506	7 737	2 284
6	1 006	1 161	944	1 029	1 607	2 589	4 459	8 836	10 083	4 742	6 486	2 242
7	1 084	1 090	1 066	983	1 798	2 326	4 806	9 037	9 916	4 870	5 700	2 253
8	1 006	1 096	1 103	880	2 061	2 412	6 448	9 541	9 425	4 710	5 370	2 222
9	1 000	1 000	1 103	816	1 955	2 773	6 524	10 251	11 238	4 459	4 985	2 171
10	1 018	977	1 023	765	1 341	2 750	5 387	12 539	10 591	4 475	4 662	2 130
11	1 029	977	989	778	1 283	2 521	4 537	14 514	9 287	4 552	4 186	2 161
12	1 103	917	994	748	1 898	2 600	4 039	17 452	8 836	4 382	3 781	2 120
13	1 059	901	944	820	1 502	2 668	3 683	16 299	6 929	4 367	3 655	2 032
14	971	901	885	911	1 486	3 216	4 246	12 673	6 095	4 246	3 306	1 917
15	1 023	917	927	1 000	1 709	3 076	4 919	10 444	6 754	3 981	3 203	1 993
16	1 154	1 012	890	1 109	1 582	3 114	4 261	9 471	6 280	4 506	3 229	1 807
17	1 090	1 035	1 006	1 154	1 762	3 051	4 201	8 747	5 438	3 753	3 089	1 753
18	1 128	1 059	927	1 141	1 582	2 726	4 774	8 287	5 788	3 600	3 014	1 675
19	1 103	1 072	875	1 103	1 807	2 750	6 467	8 374	5 438	3 614	2 856	1 658
20	1 023	1 041	906	1 041	2 041	3 519	7 347	9 681	5 336	3 451	2 990	1 599
21	1 023	1 128	911	944	2 390	3 952	7 449	9 287	5 134	3 002	3 039	1 566
22	989	1 072	917	792	2 358	3 492	7 227	8 970	4 968	2 990	2 611	1 542
23	983	1 029	895	756	1 898	3 127	6 832	8 925	4 985	4 068	2 488	1 574
24	1 103	1 041	885	895	2 110	3 002	6 812	7 925	5 018	3 851	2 477	1 534
25	1 194	917	983	1 000	2 181	2 928	6 793	6 890	4 806	3 837	2 510	1 470
26	1 207	922	1 135	1 012	1 771	2 832	6 677	6 317	4 678	4 010	2 600	1 550
27	1 194	855	1 006	989	1 416	3 254	7 531	6 600	3 966	3 952	2 589	1 649
28	1 194	860	1 078	1 006	1 298	3 628	8 031	6 735	5 932	4 083	2 444	1 591
29	1 154	989	1 023	1 012	1 207	3 880	7 925	7 841	7 287	4 097	2 295	1 624
30	1 115		989	1 041	1 517	3 767	8 374	9 173	5 932	3 880	2 295	1 599
31	1 221		971		1 852		8 791	9 402		4 306		1 607

Anhang C

Bathymetrische Karte

In diesem Anhang sind insgesamt acht bathymetrische Karten enthalten, die Flussabschnitte des Mekong bei den in dieser Arbeit wichtigen Messpegeln (siehe hier Kapitel 4.5) zeigen und auf den in dieser Arbeit gemessenen Flusstiefen basieren. Zur Erstellung der Karten wurde das Auswerteprogramm xf verwendet und als Hintergrund dienen die Luftbilder vom thailändischen Landwirtschaftsministerium (weitere Angaben zu den Luftbildern sind im Bildnachweis am Ende der Arbeit enthalten). In der folgenden Abbildung C.1 ist eine Übersicht über die Lage der einzelnen bathymetrischen Karten gegeben.

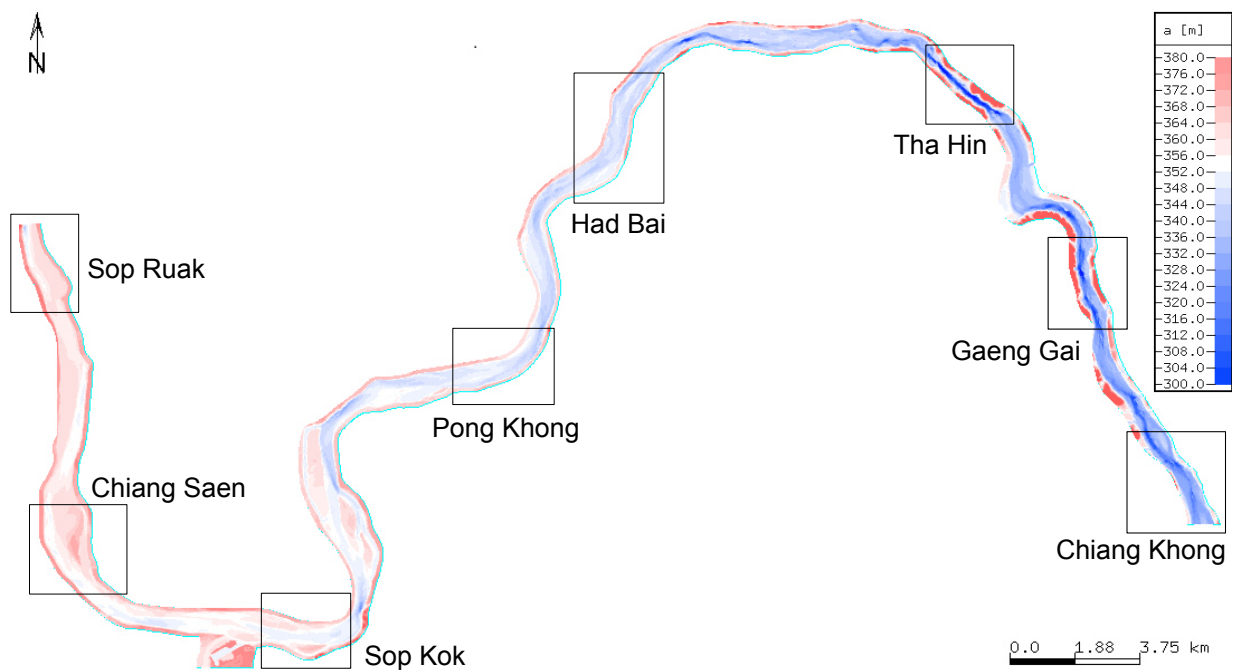


Abbildung C.1: Übersicht über die Lage der bathymetrischen Karten im betrachteten Abschnitt des Mekong

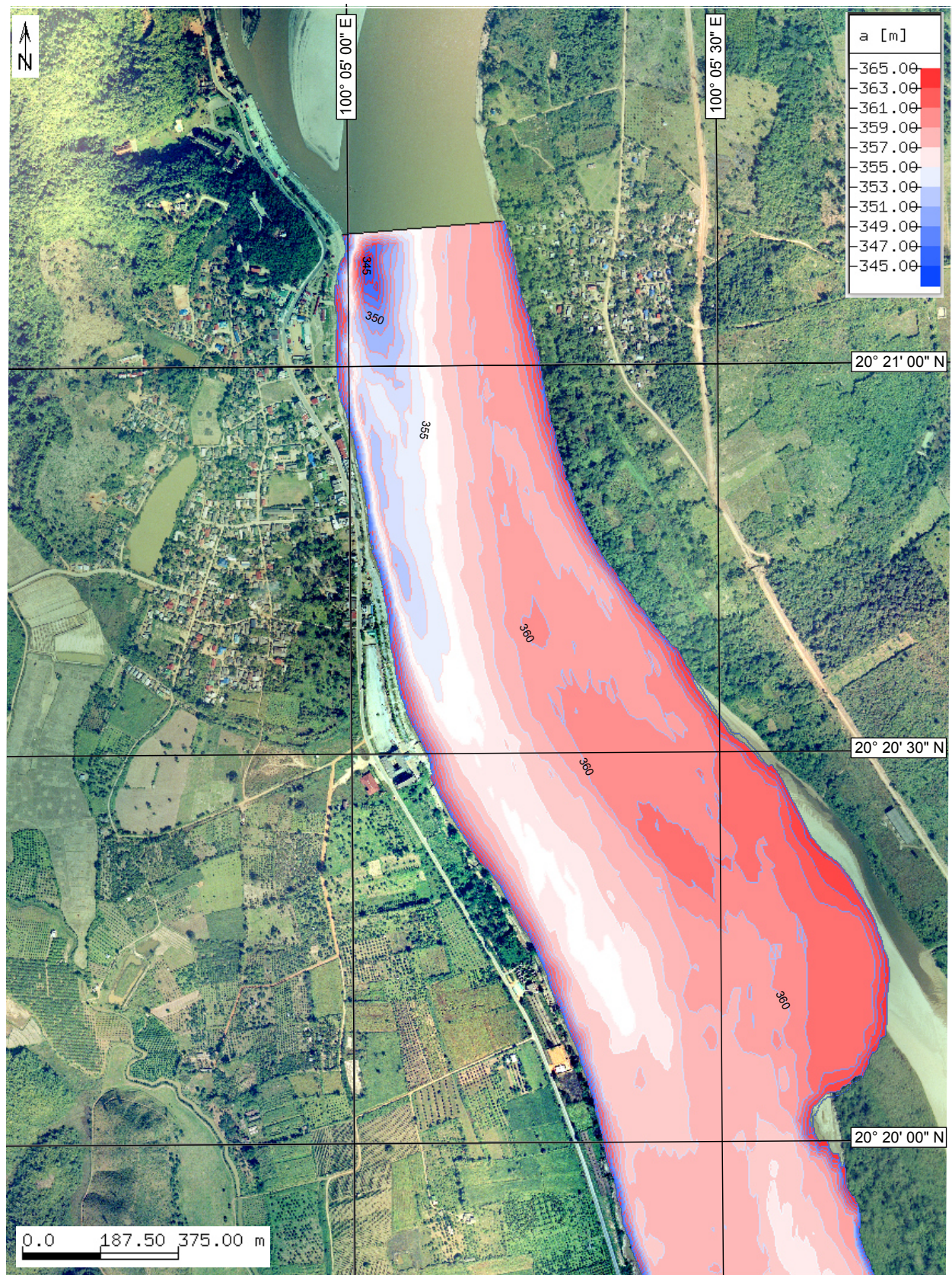


Abbildung C.2: Bathymetrische Karte für den Bereich Sop Ruak. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 361,52 m.ü.NN. bei 2 000 m³/s und 364,76 m.ü.NN. bei 6 000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 344,93 m.ü.NN..

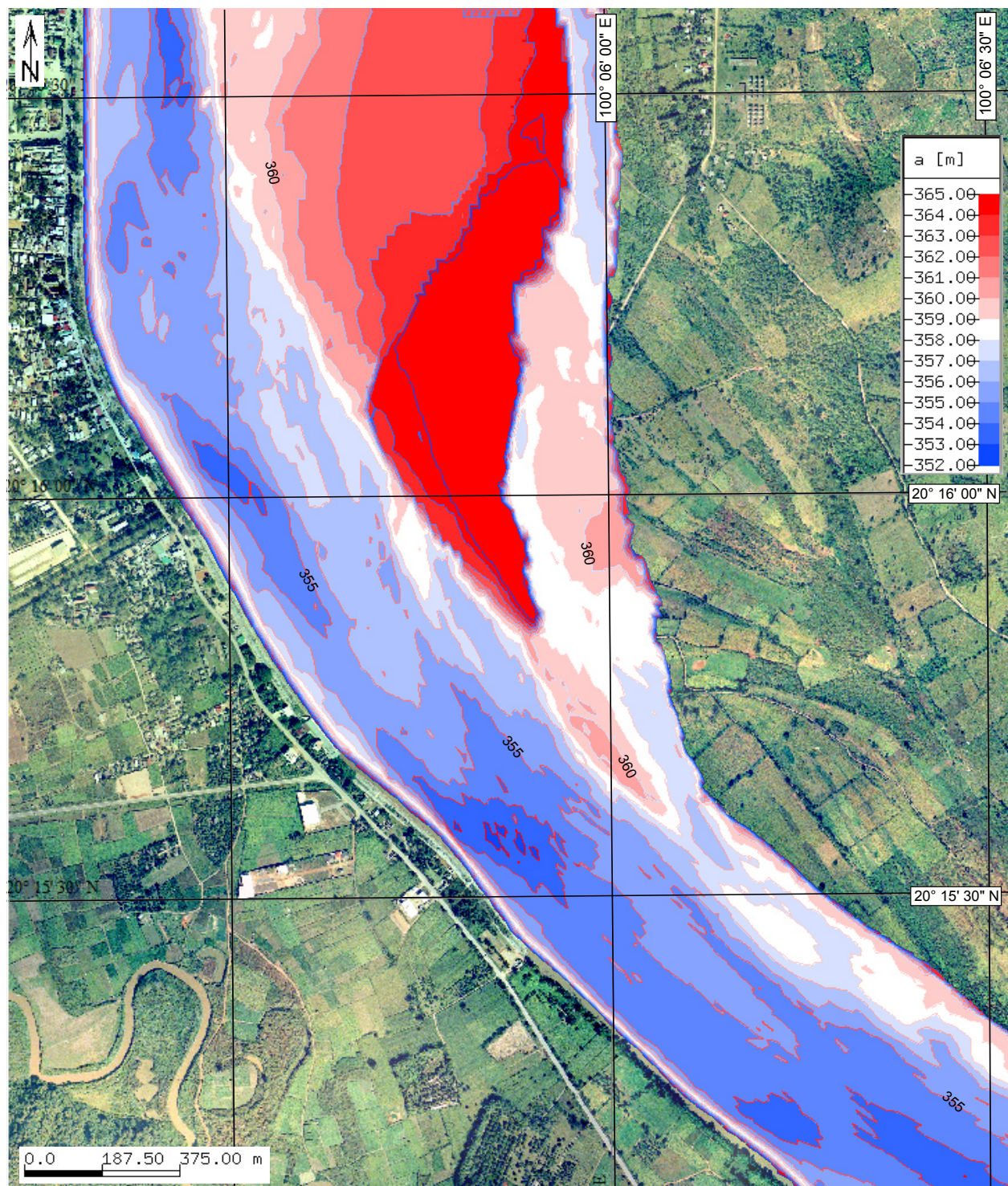


Abbildung C.3: Bathymetrische Karte für den Bereich Chiang Saen. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 359,37 m.ü.NN. bei 2000 m³/s und 362,93 m.ü.NN. bei 6000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 352,63 m.ü.NN..

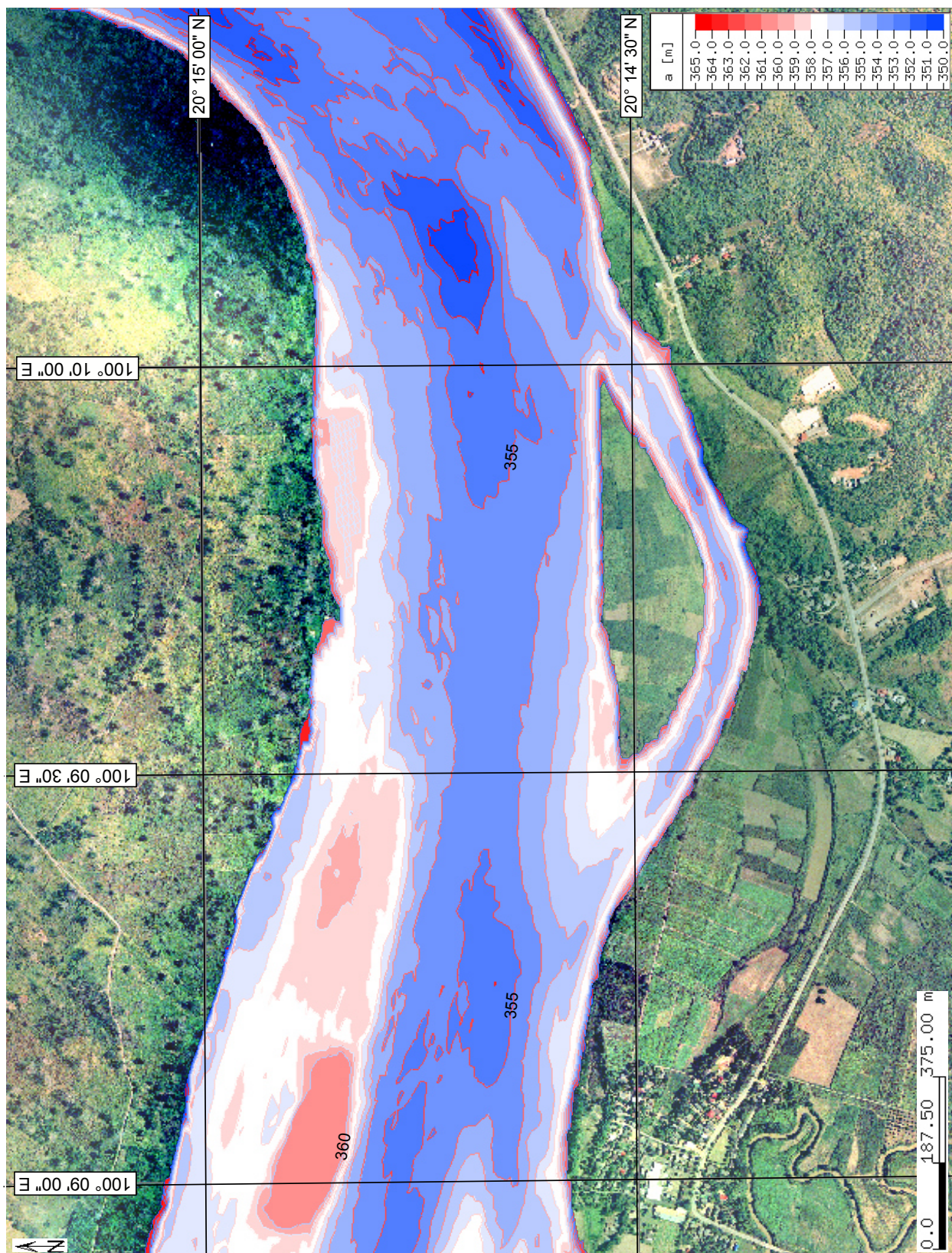


Abbildung C.4: Bathymetrische Karte für den Bereich Sop Kok. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 357,53 m.ü.NN. bei 2000 m³/s und 361,45 m.ü.NN. bei 6000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 350,13 m.ü.NN..

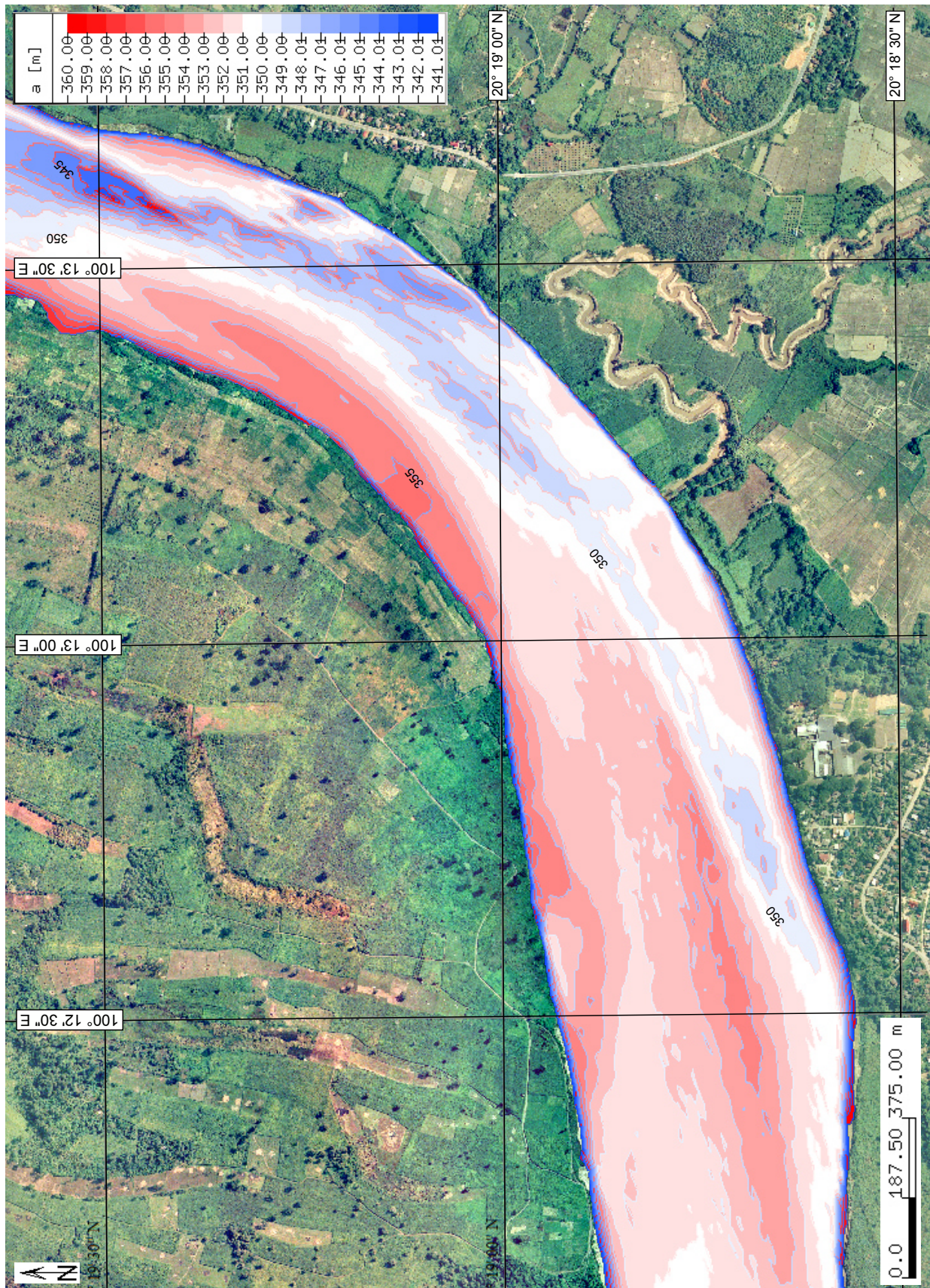


Abbildung C.5: Bathymetrische Karte für den Bereich Pong Khong. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 354,87 m.ü.NN. bei 2 000 m³/s und 358,76 m.ü.NN. bei 6 000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 341,47 m.ü.NN..

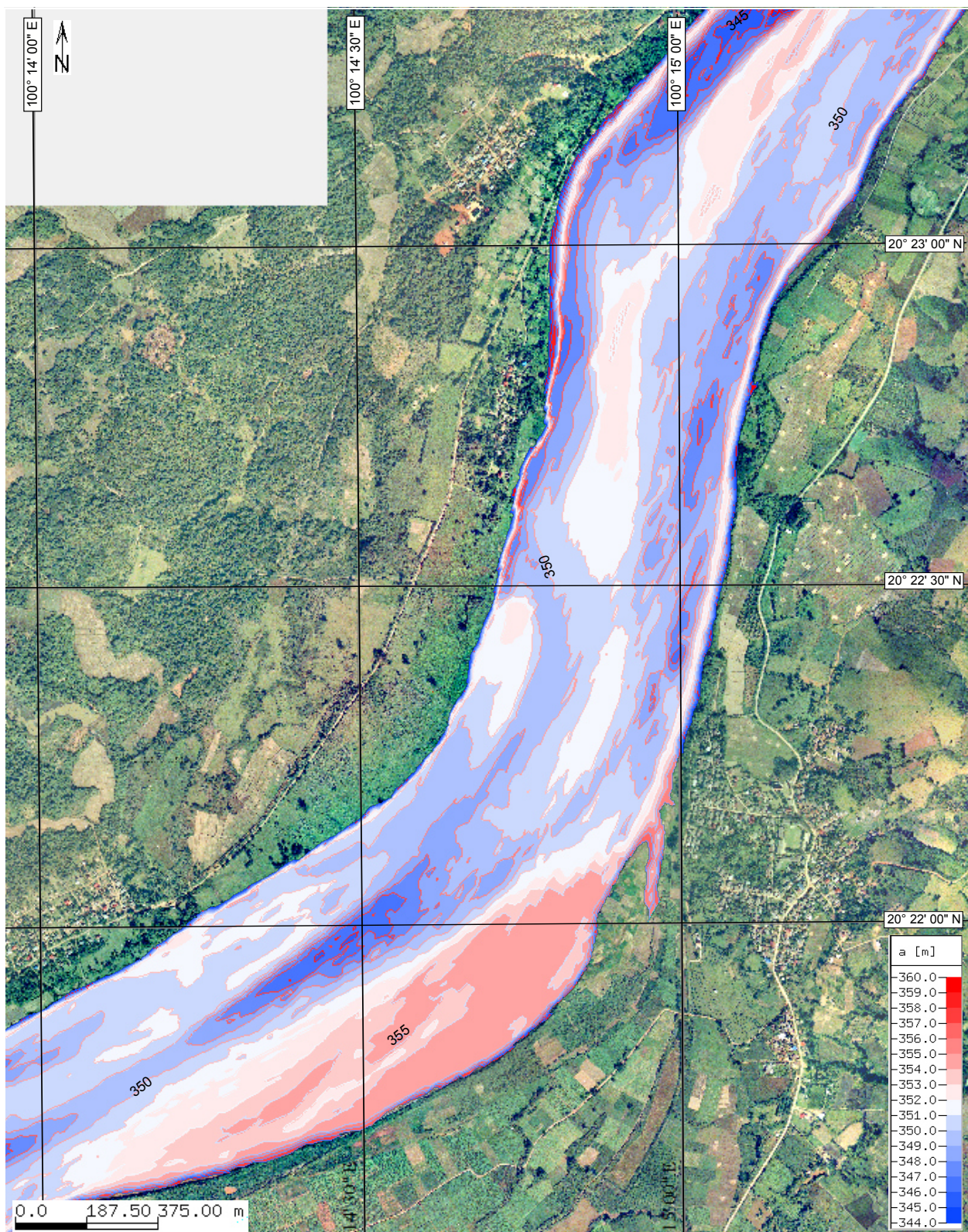


Abbildung C.6: Bathymetrische Karte für den Bereich Had Bai. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 353,04 m.ü.NN. bei 2000 m³/s und 357,07 m.ü.NN. bei 6000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 344,53 m.ü.NN..

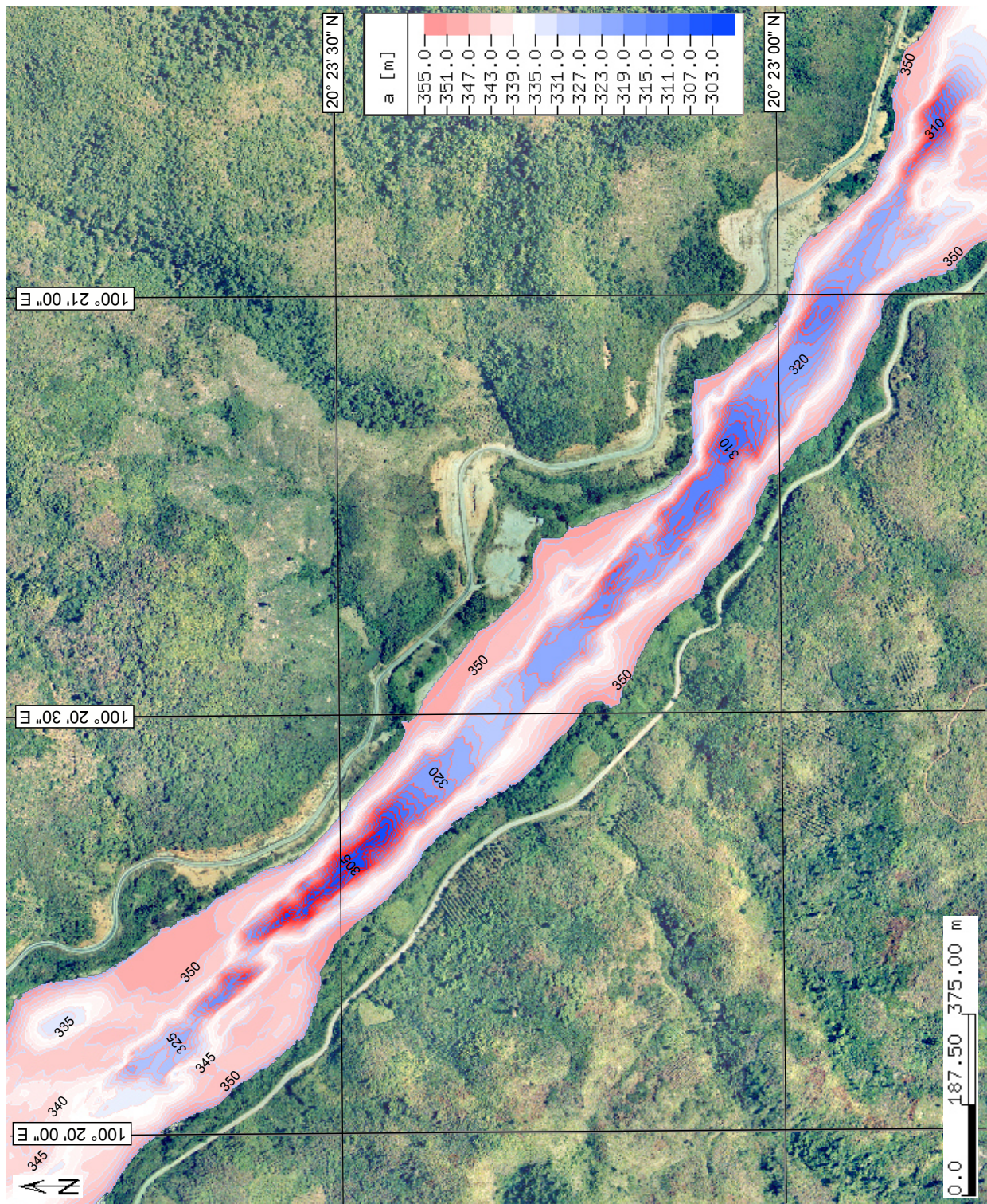


Abbildung C.7: Bathymetrische Karte für den Bereich Tha Hin. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 348,41 m.ü.NN. bei 2 000 m³/s und 353,38 m.ü.NN. bei 6 000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 301,12 m.ü.NN..

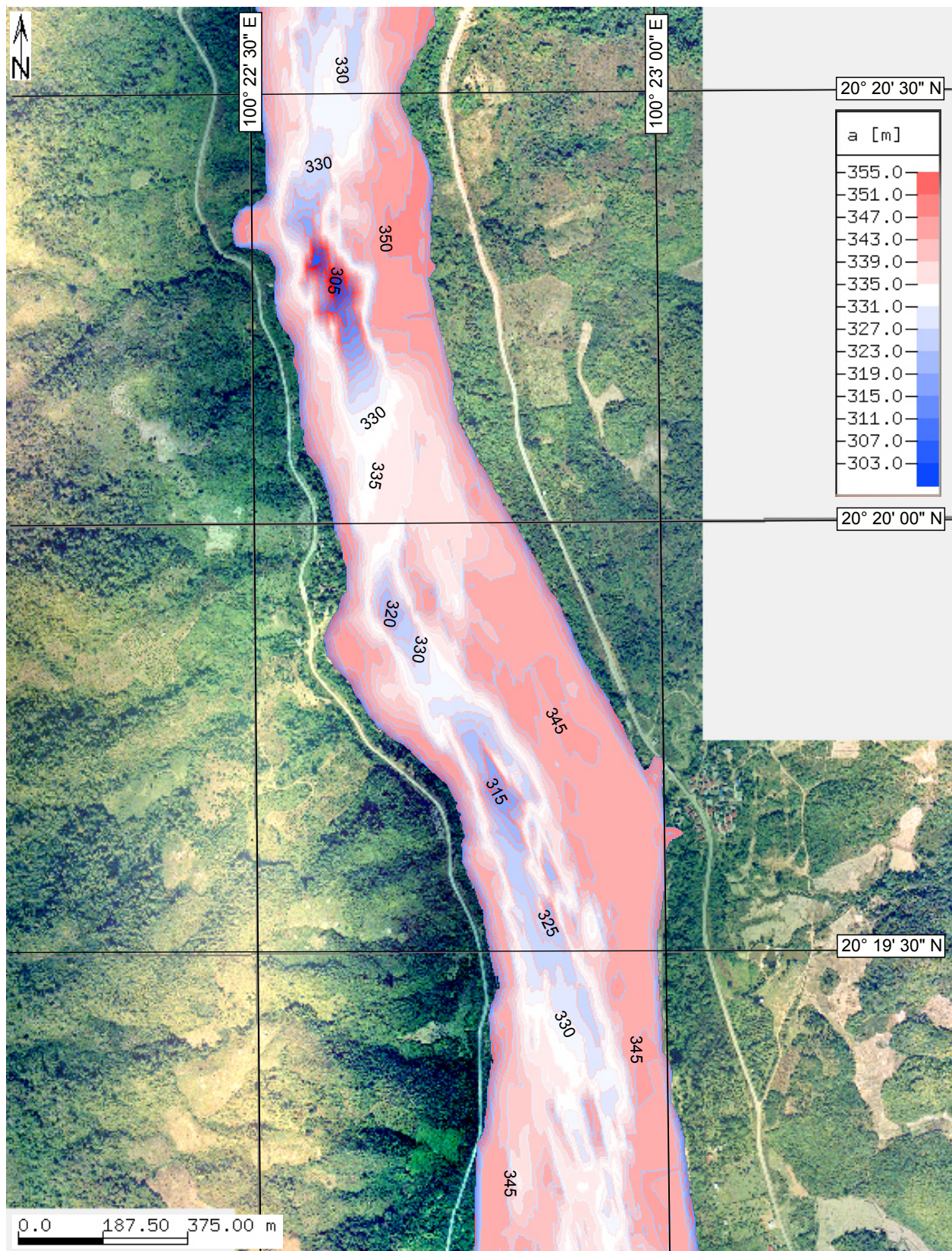


Abbildung C.8: Bathymetrische Karte für den Bereich Gaeng Gai. Der mittlere WSP hat eine Höhe von 345,73 m.ü.NN. bei 2000 m³/s und 350,76 m.ü.NN. bei 6000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 301,61 m.ü.NN..

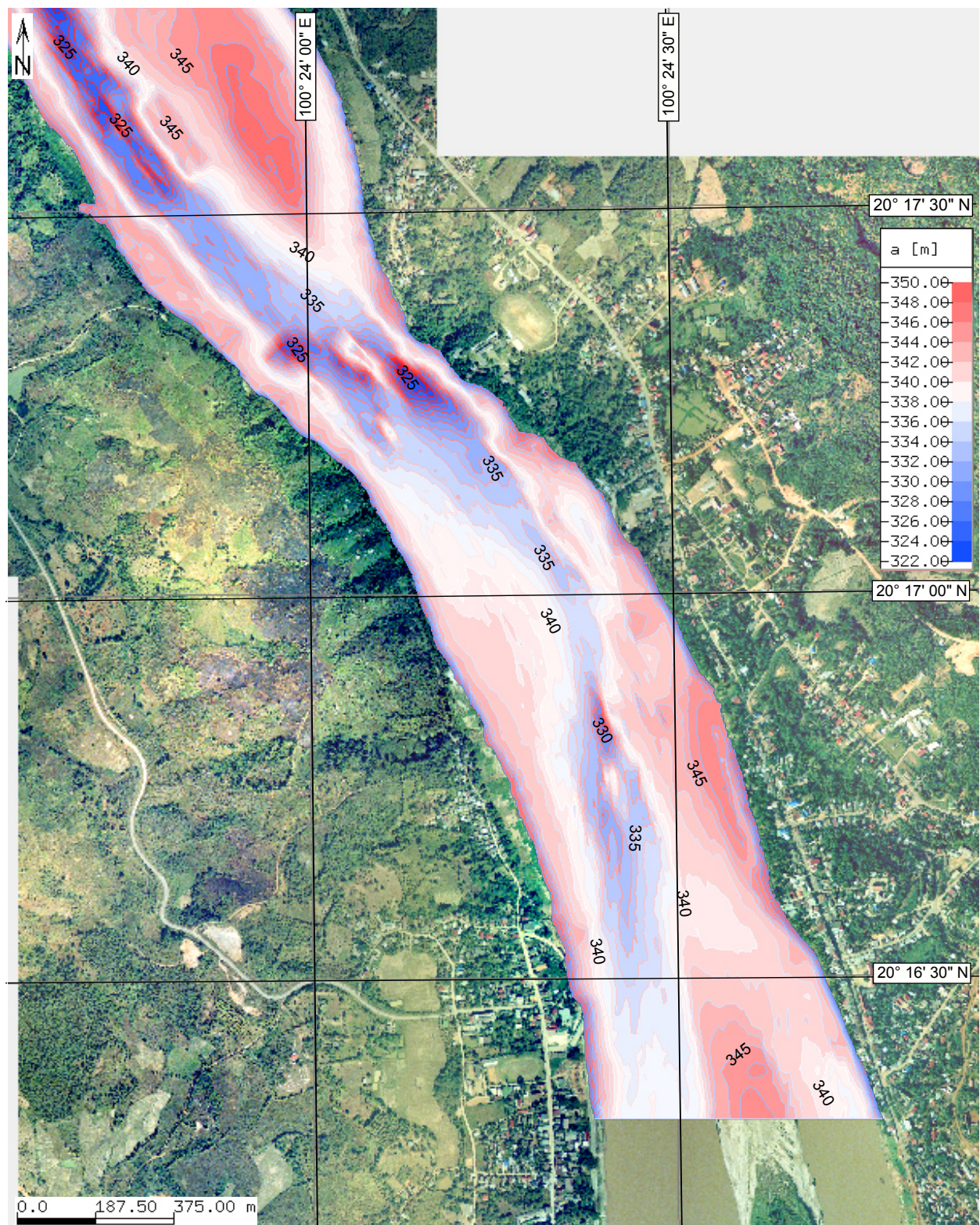


Abbildung C.9: Bathymetrische Karte für den Bereich Chiang Khong. Der mittlere WSP hat eine mittlere Höhe von 345,19 m.ü.NN. bei 2 000 m³/s und 348,96 m.ü.NN. bei 6 000 m³/s. Der tiefste Punkt im dargestellten Abschnitt liegt auf 322,01 m.ü.NN..

Anhang D

Darstellung der Untiefen im Flussabschnitt Sop Ruak - Chiang Khong

Um Untiefen im Flussabschnitt zwischen Sop Ruak und Chiang Khong zu identifizieren, wurde eine Simulation mit $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ und eine weitere mit $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ durchgeführt. Anschließend wurde bei der Auswertung mit dem Auswerteprogramm xf die Wassertiefe dargestellt. Dabei wurde nur bis zur Wassertiefe von 3 m eine Abstufung der Farben ausgewählt, so dass Bereiche $\geq 3\text{ m}$ in der selben Farbe dargestellt werden. Dadurch wurde eine einfache Identifizierung der die Navigation behindernden Bereiche erreicht.

D.1 Ergebnisse der Simulation mit $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Im folgenden ist eine Übersicht über die Bereiche der identifizierten Untiefen bei einem Durchfluss von $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ gegeben. Anschließend sind die neun Flussabschnitte im Detail abgebildet.

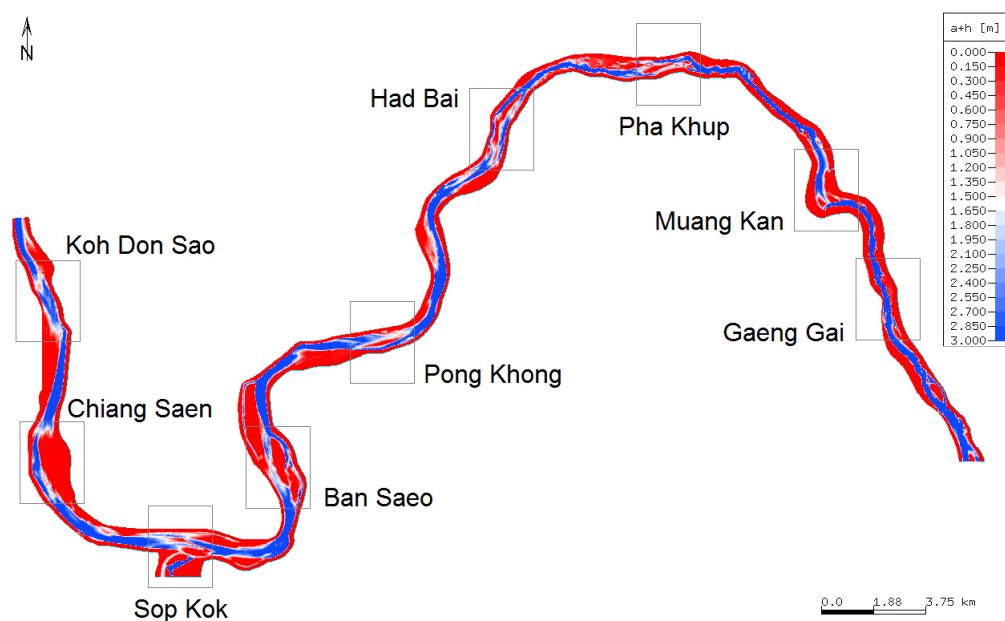


Abbildung D.1: Übersicht über die Bereiche die die Navigation bei $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern

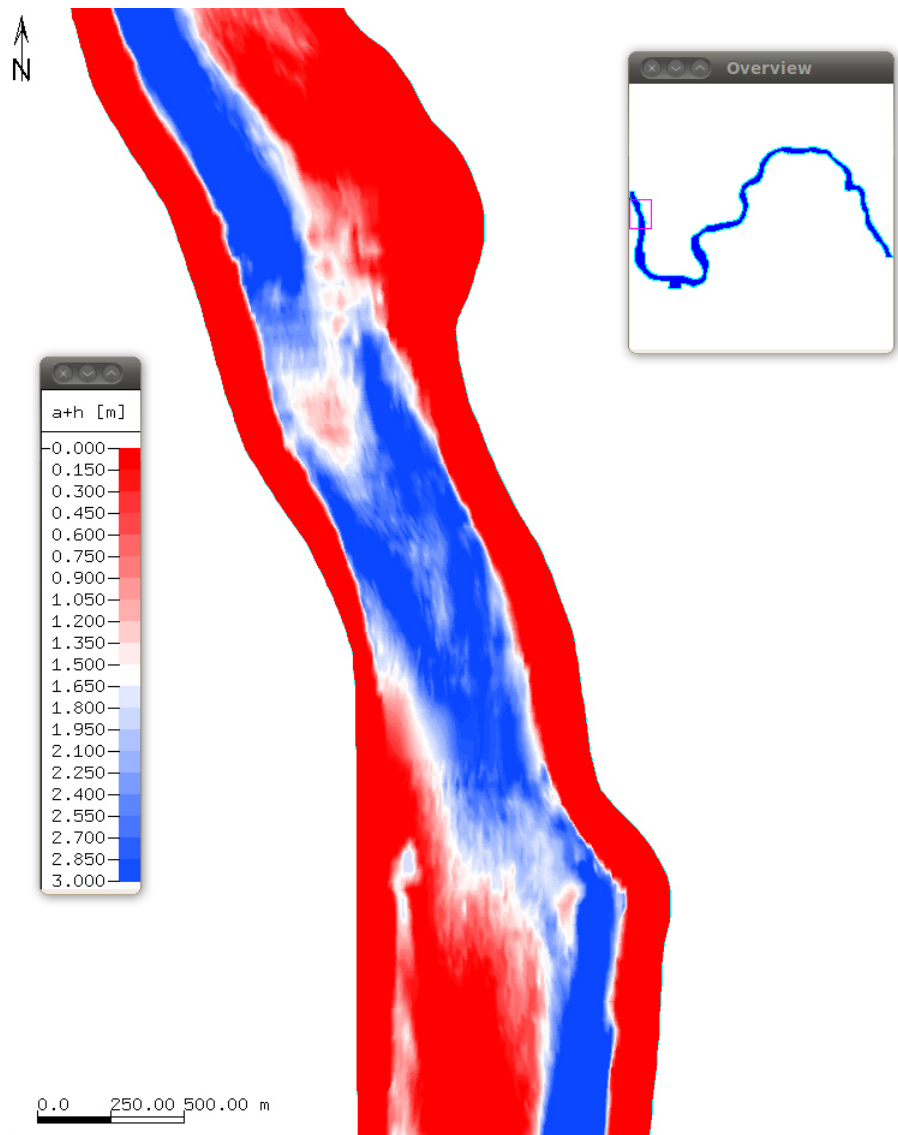


Abbildung D.2: Untiefen bei Koh Don Sao ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

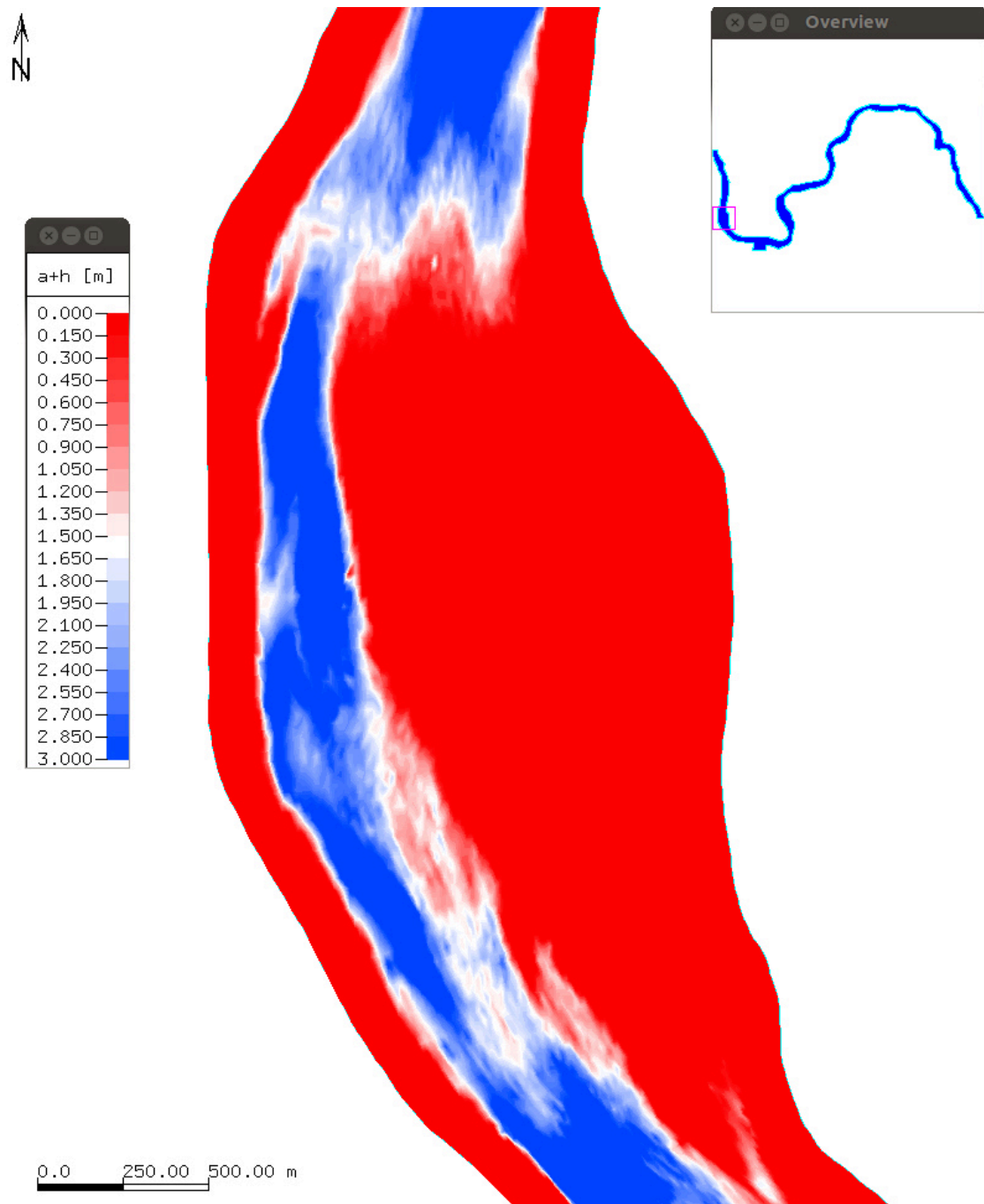


Abbildung D.3: Untiefen bei Chiang Saen ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

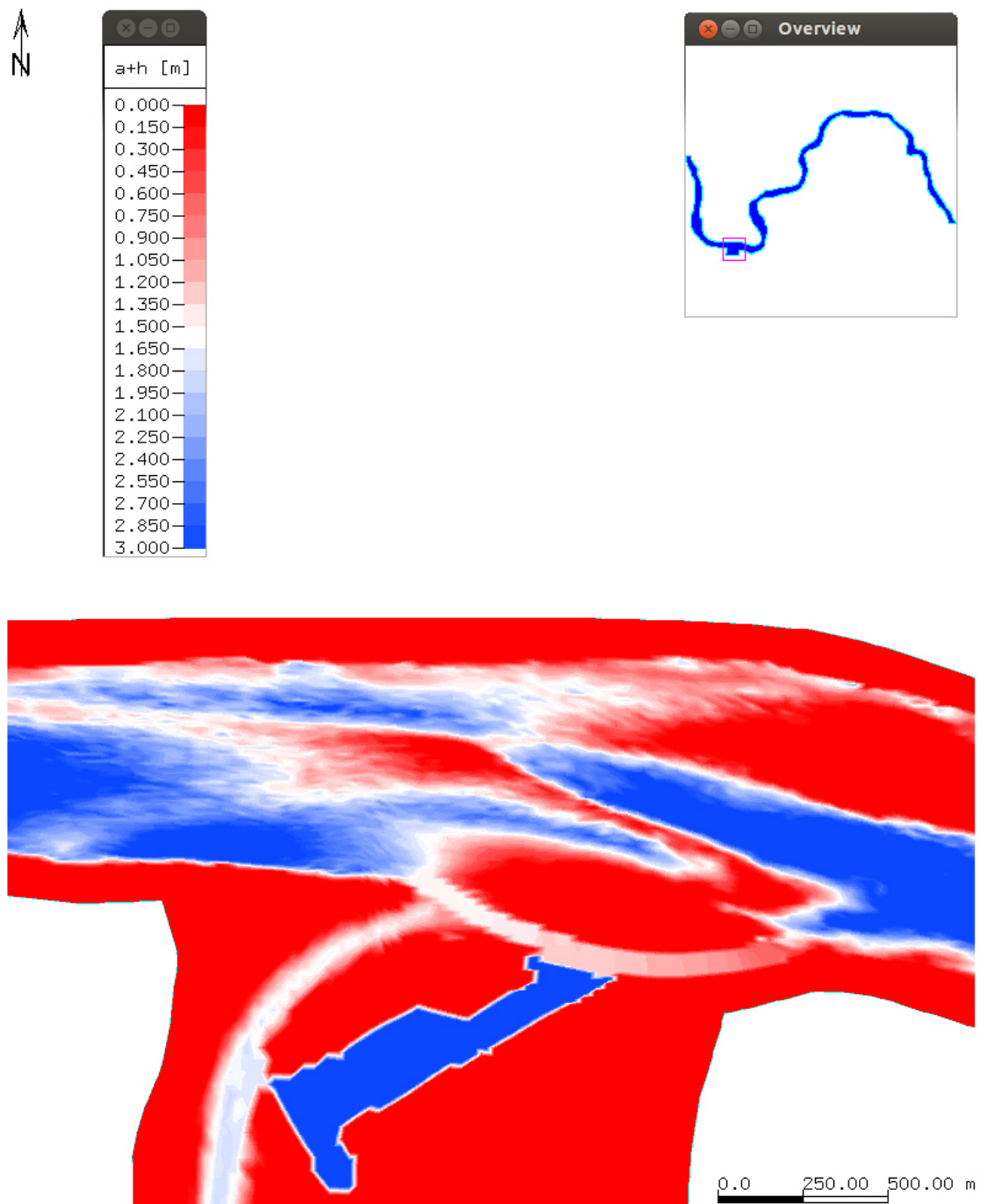


Abbildung D.4: Untiefen bei Sop Kok ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

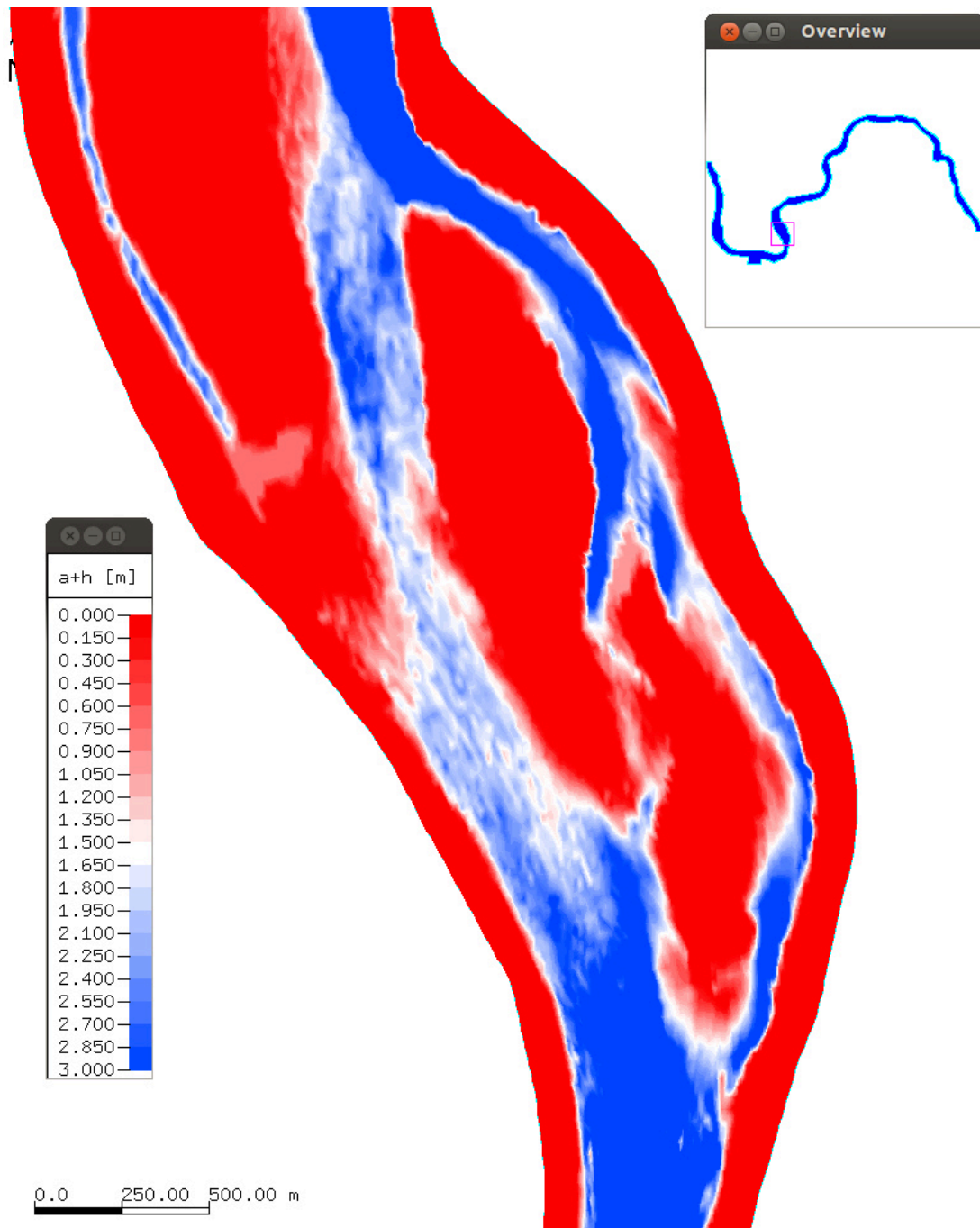


Abbildung D.5: Untiefen bei Ban Saeo ($Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$)

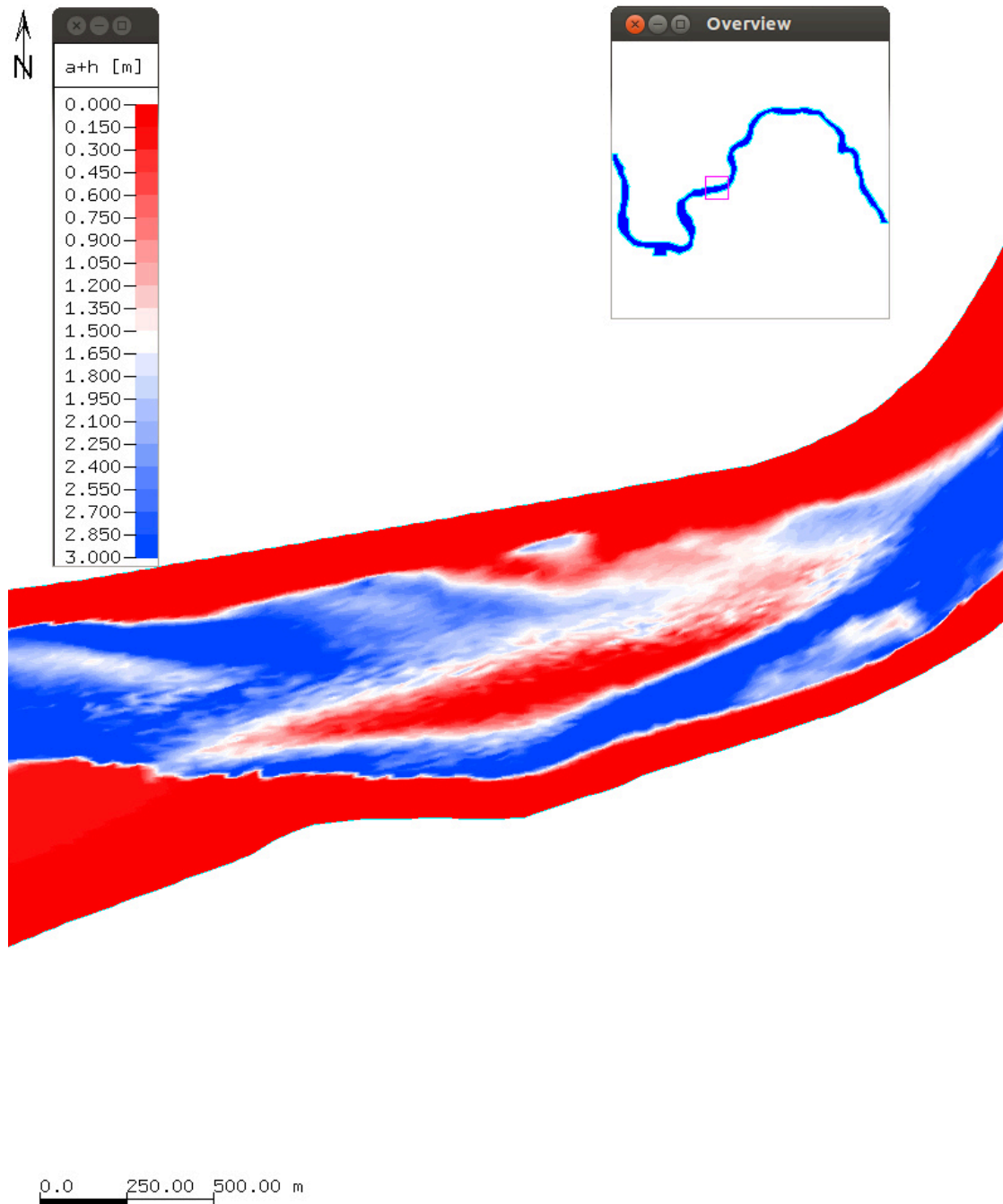


Abbildung D.6: Untiefen bei Pong Khong ($Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$)

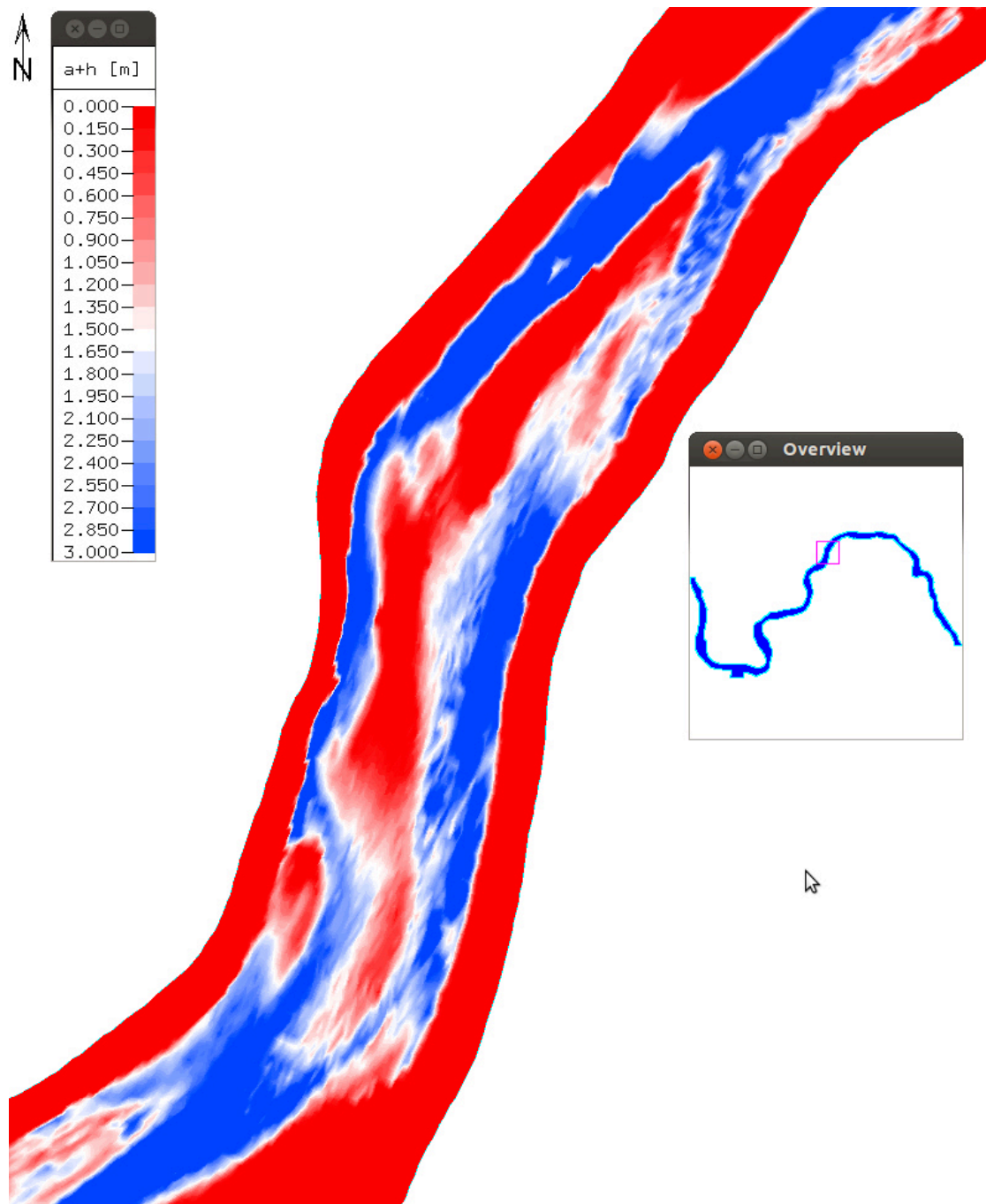


Abbildung D.7: Untiefen bei Had Bai ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

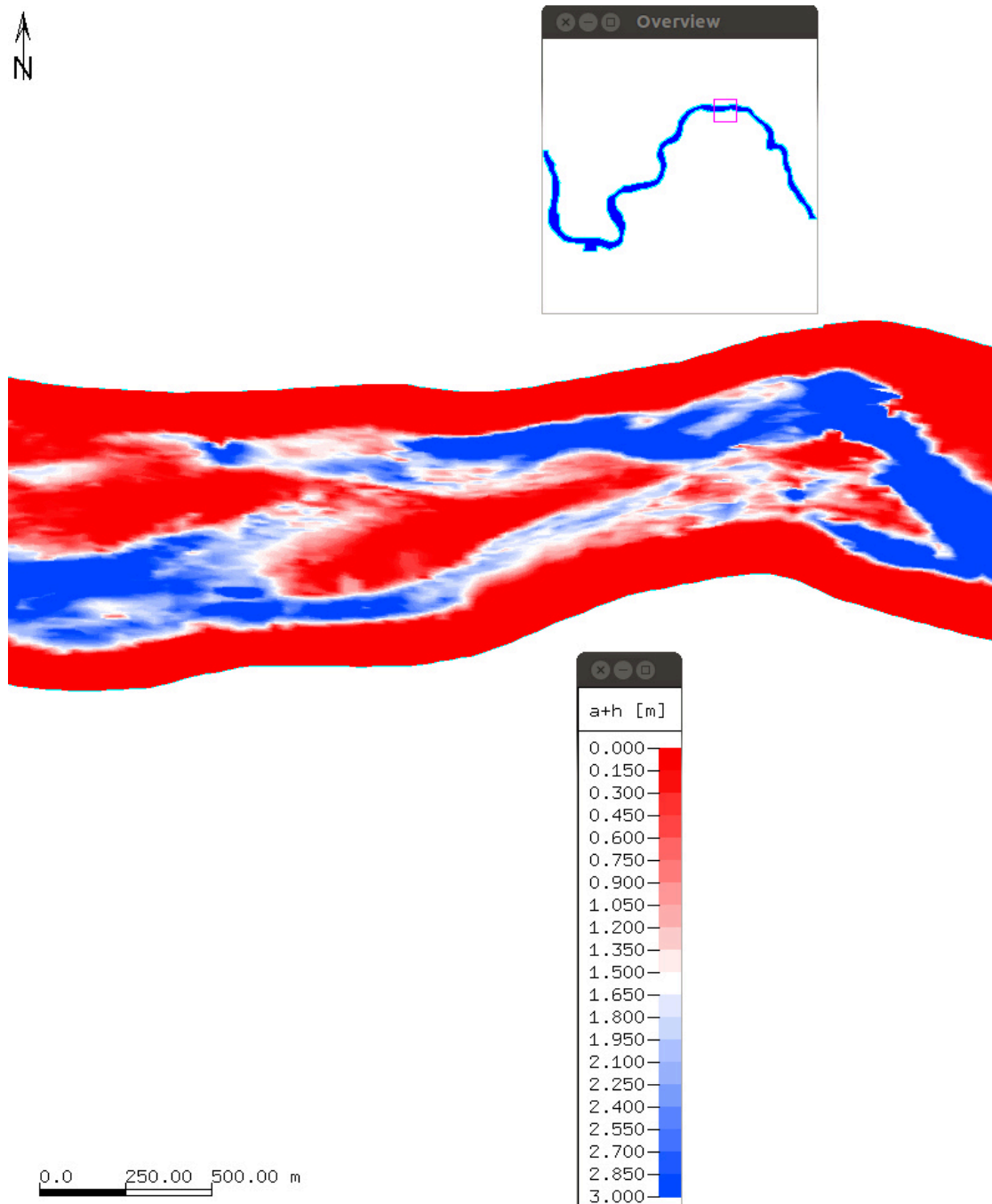


Abbildung D.8: Untiefen bei Pha Khup ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

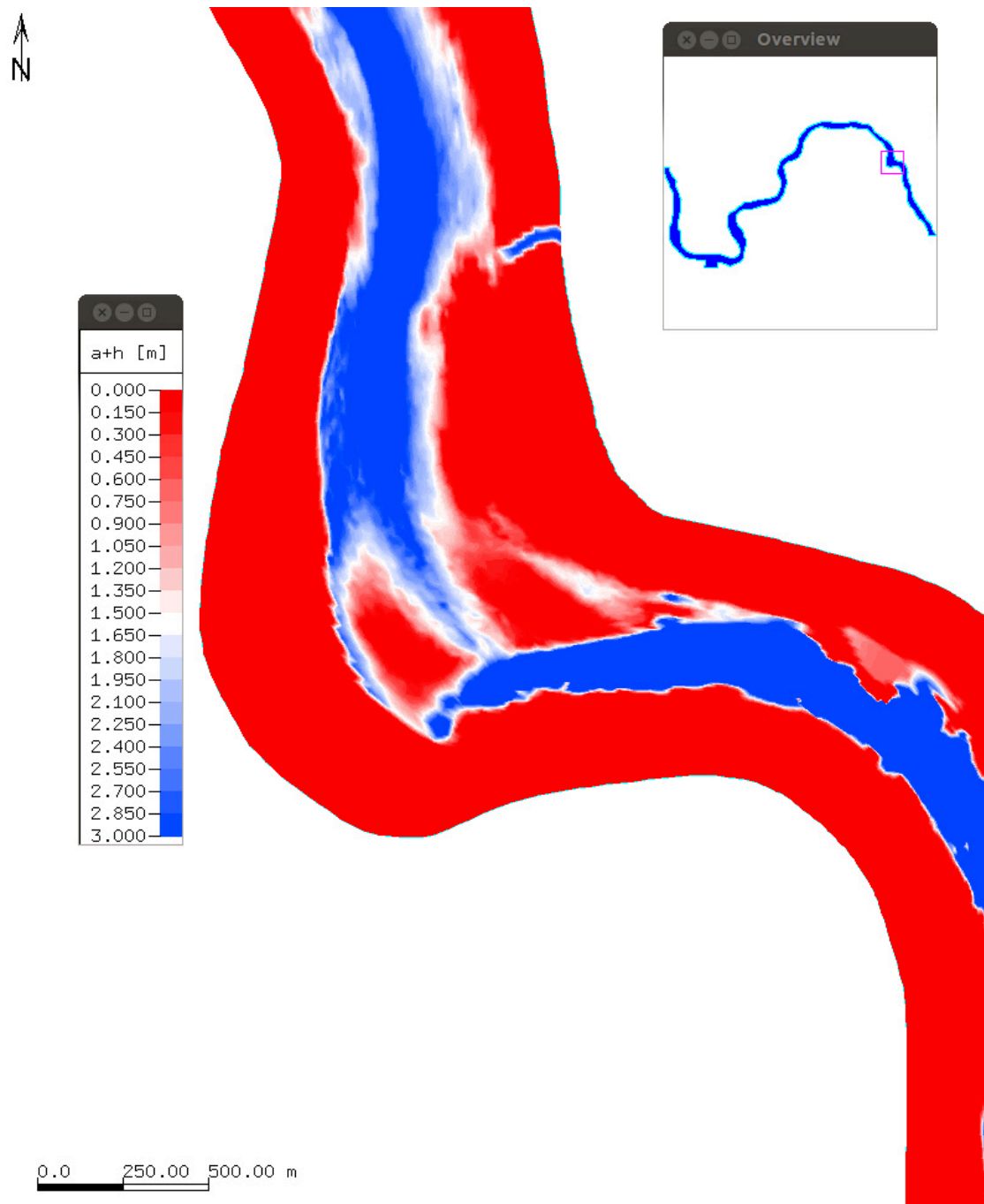


Abbildung D.9: Untiefen bei Muang Kan ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

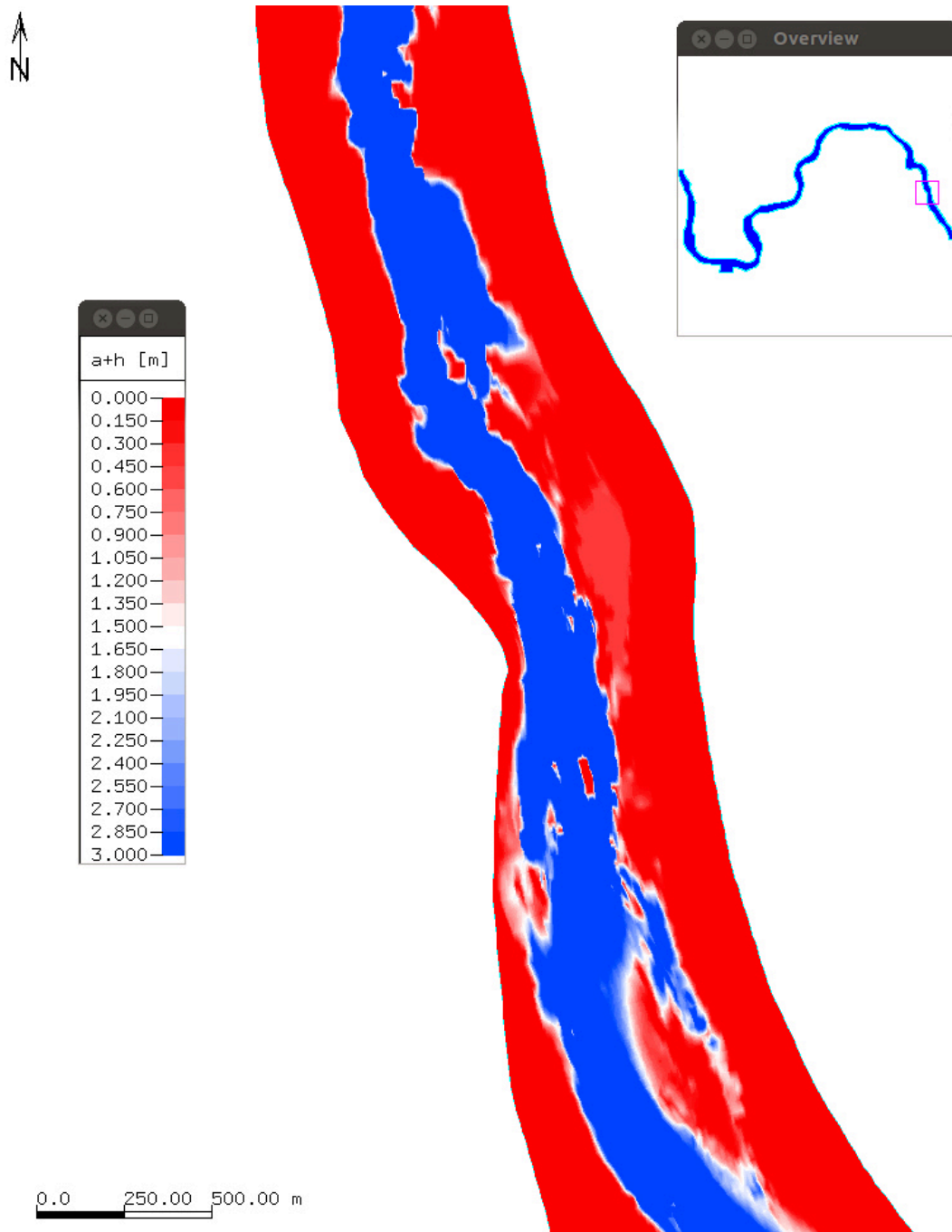


Abbildung D.10: Untiefen bei Gaeng Gai ($Q=1\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

D.2 Ergebnisse der Simulation mit $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$

Im folgenden ist eine Übersicht über die Bereiche der identifizierten Untiefen bei einem Durchfluss von $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ gegeben. Auch hier wurde bei dem Auswerteprogramm xf die Wassertiefe nur bis 3 m farblich abgestuft, so dass Bereiche $\geq 3\text{ m}$ in der selben Farbe dargestellt werden. Dadurch wurde eine einfache Identifizierung der die Navigation behindernden Bereiche erreicht. Anschließend sind die sieben Flussabschnitte im Detail abgebildet.

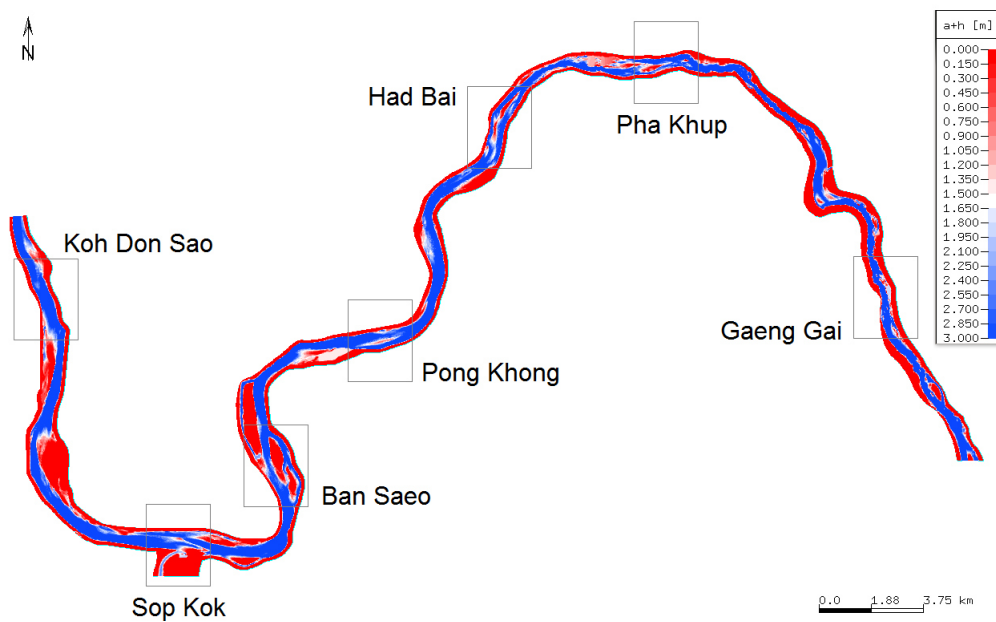


Abbildung D.11: Übersicht über die Bereiche die die Navigation bei $Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ behindern

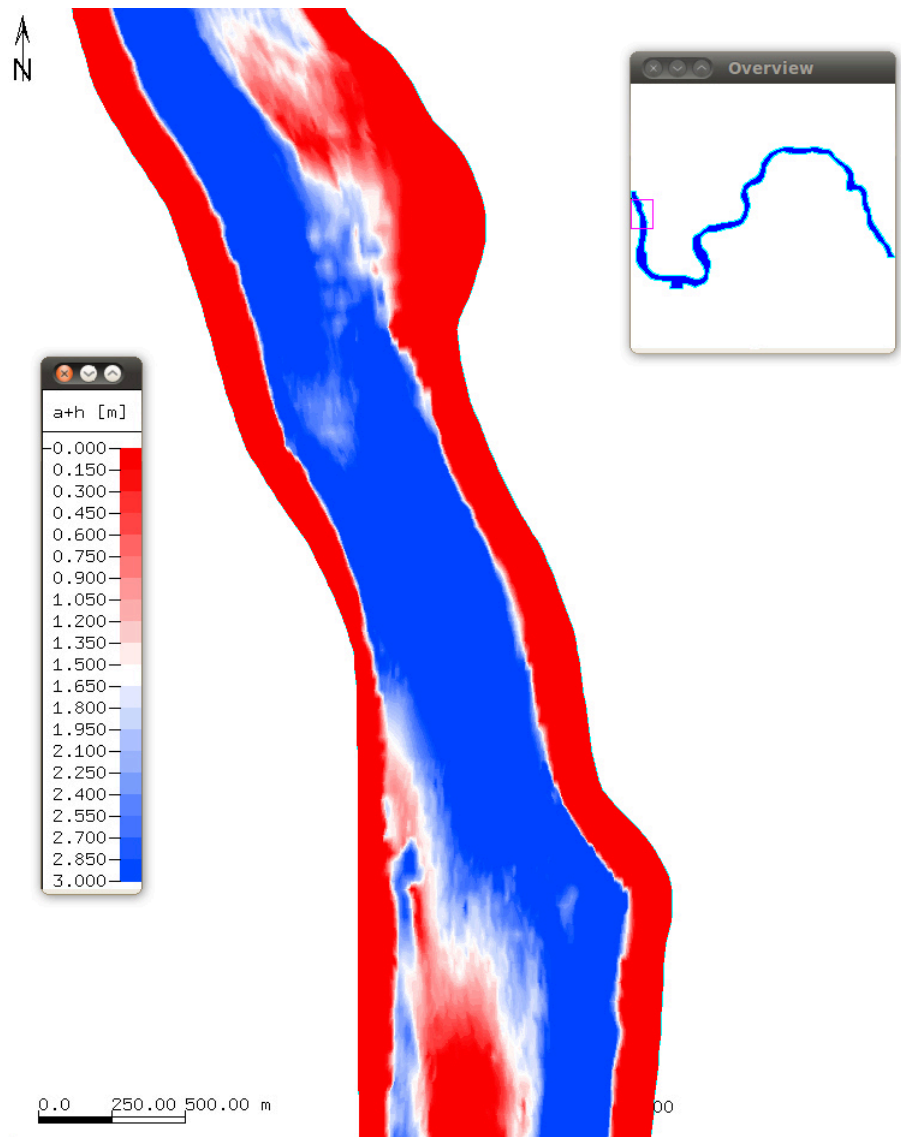


Abbildung D.12: Untiefen bei Koh Don Sao ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

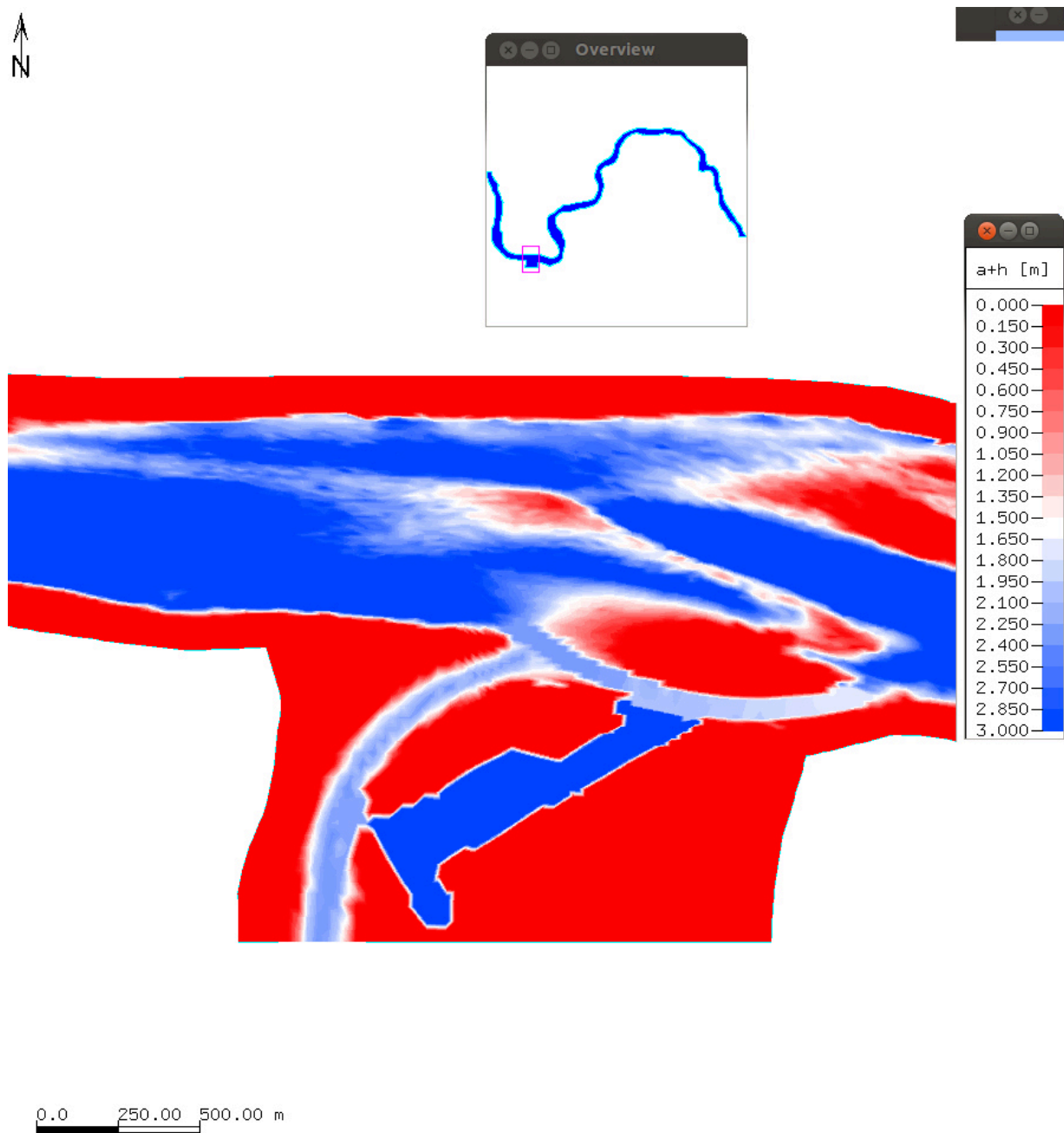


Abbildung D.13: Untiefen bei Sop Kok ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

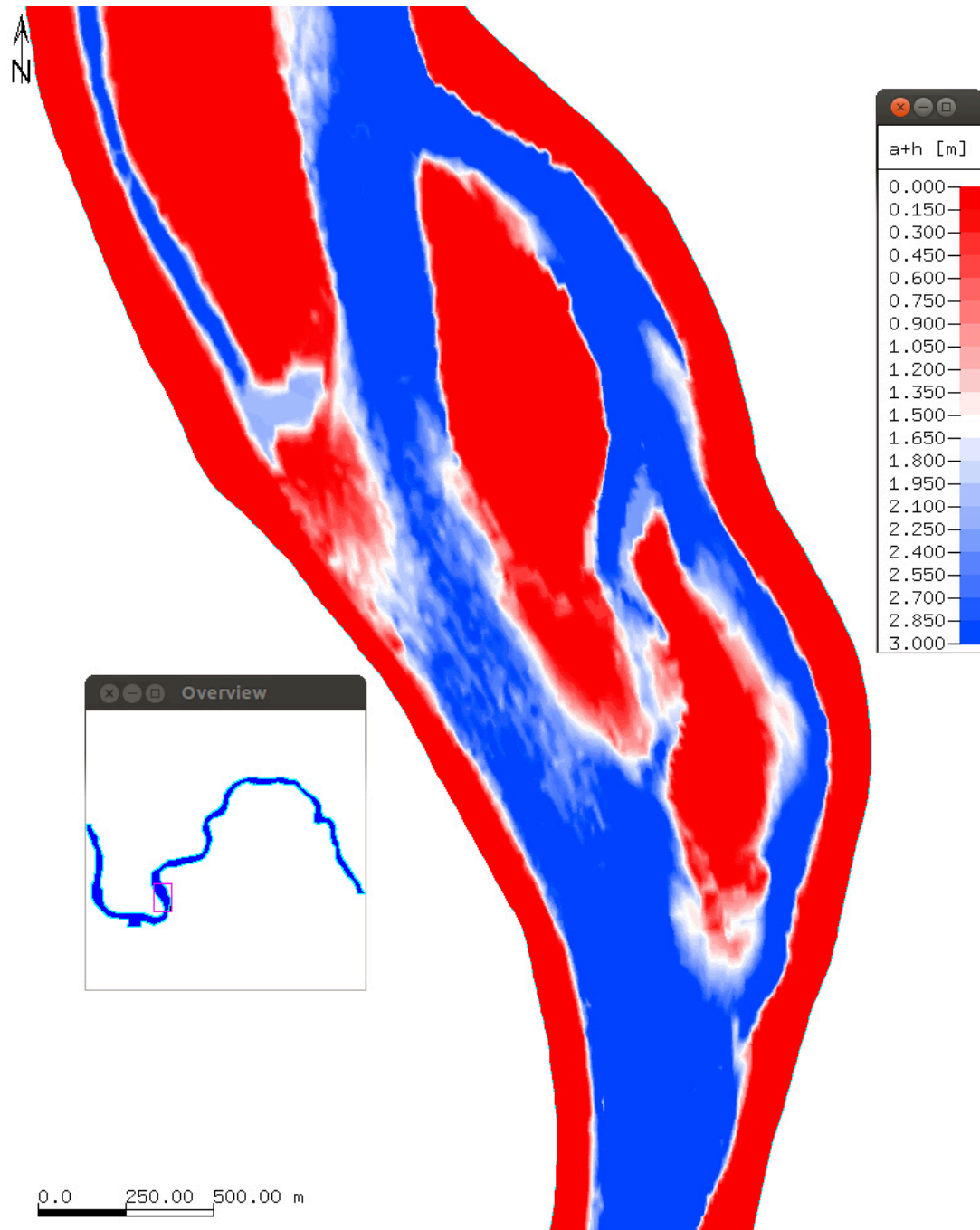


Abbildung D.14: Untiefen bei Ban Saeo ($Q=2000 \text{ m}^3/\text{s}$)

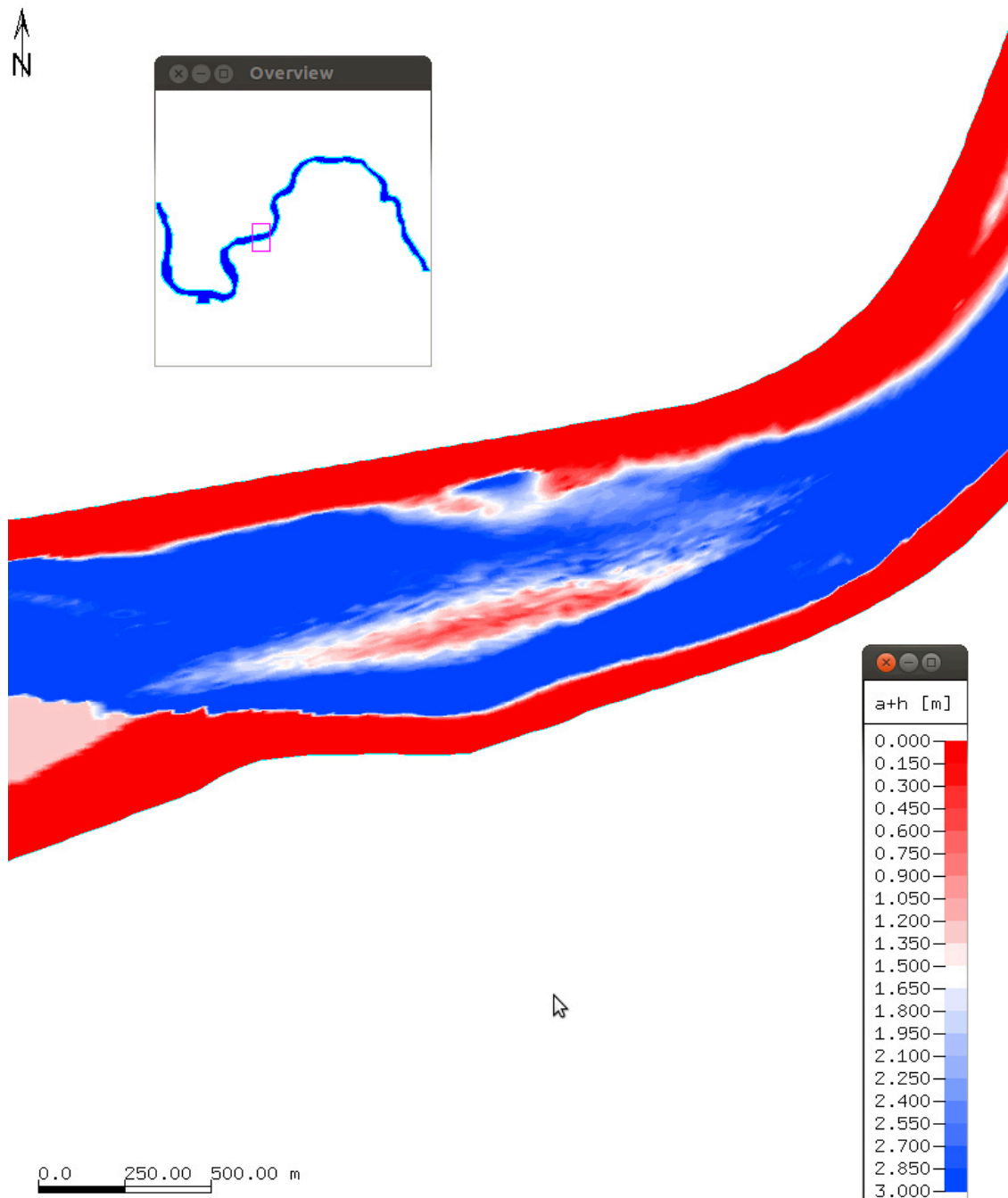


Abbildung D.15: Untiefen bei Pong Khong ($Q=2000 \text{ m}^3/\text{s}$)

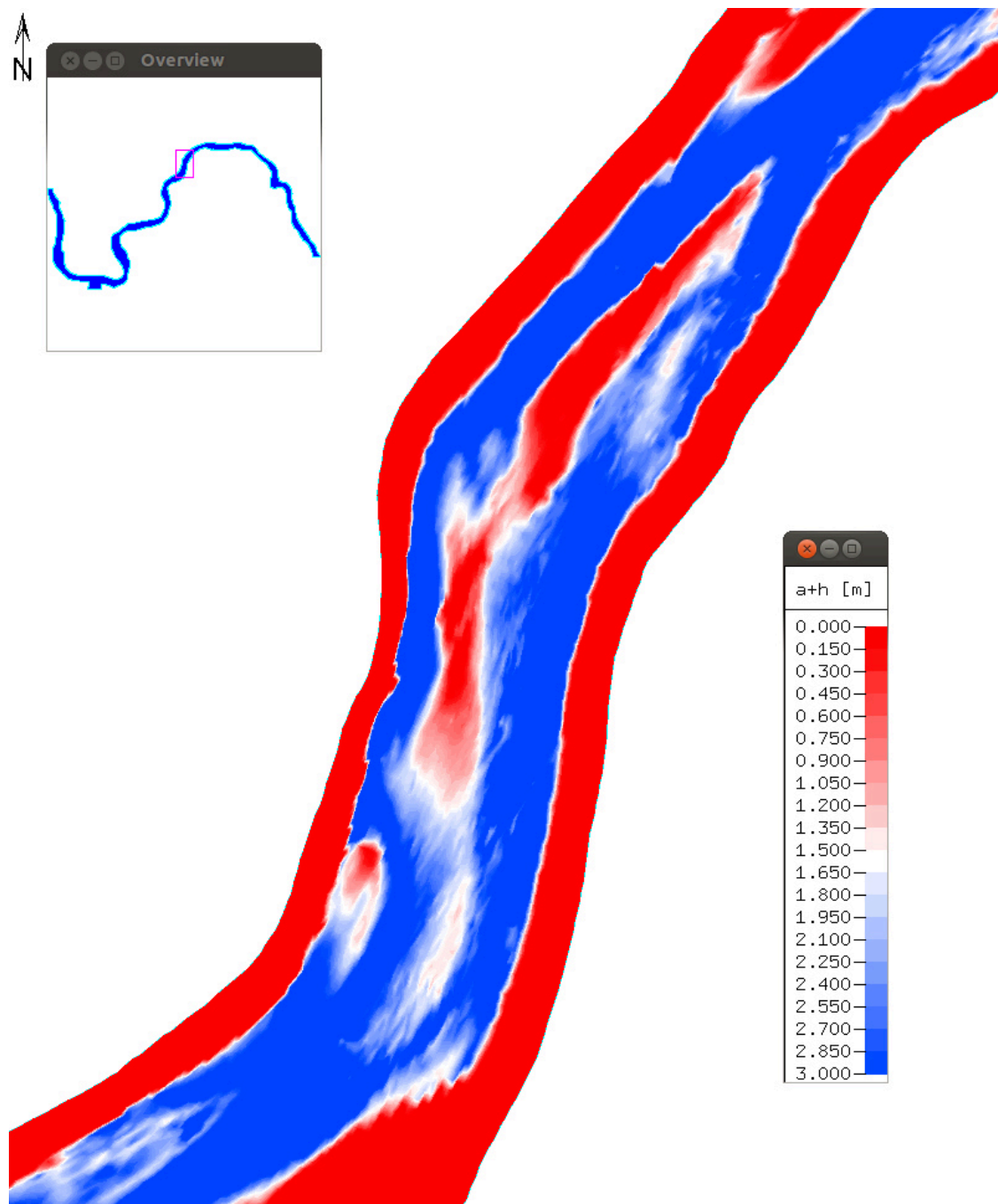


Abbildung D.16: Untiefen bei Had Bai ($Q=2000 \text{ m}^3/\text{s}$)

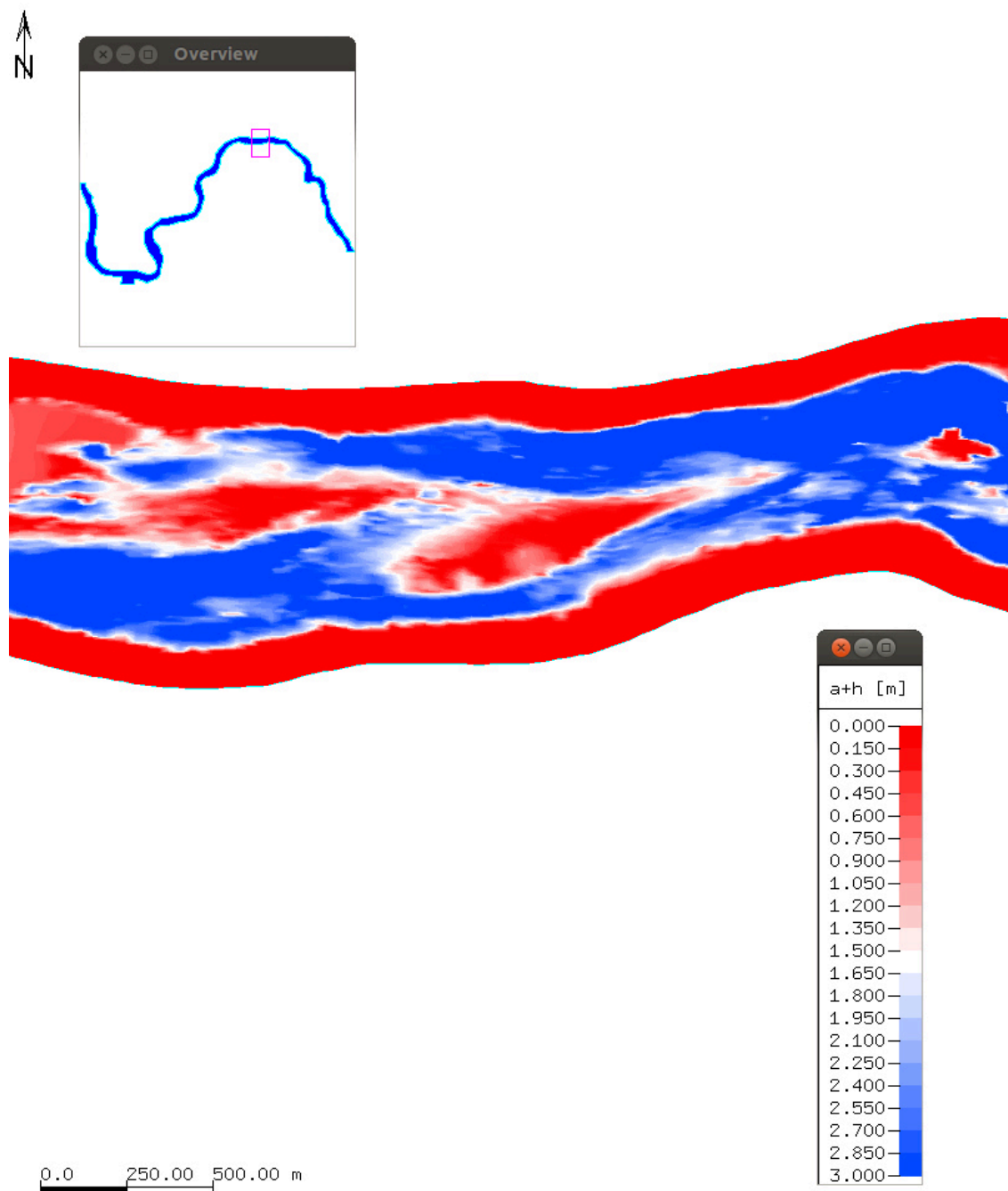


Abbildung D.17: Untiefen bei Pha Khup ($Q=2000 \text{ m}^3/\text{s}$)

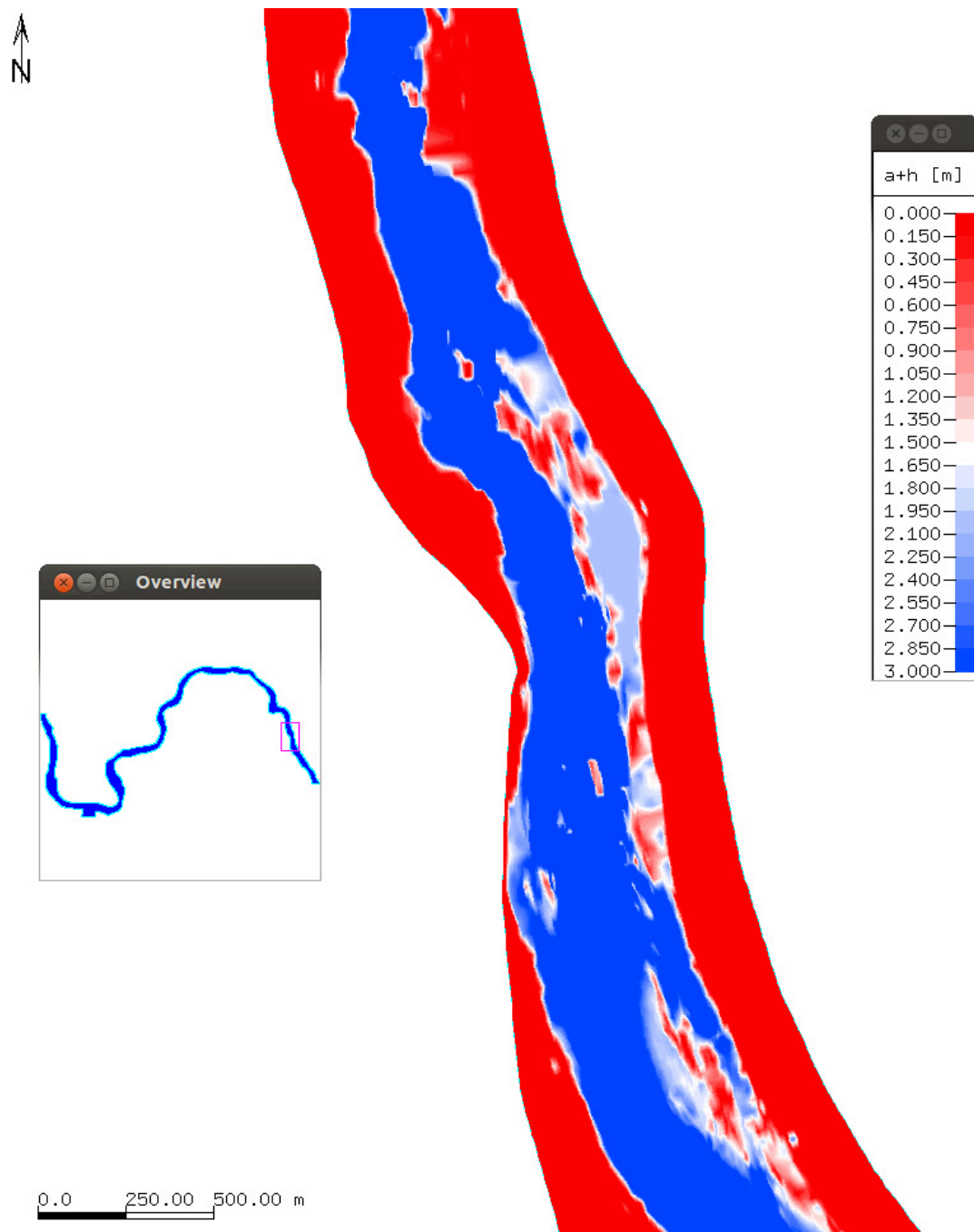


Abbildung D.18: Untiefen bei Gaeng Gai ($Q=2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)

Anhang E

Darstellung morphodynamischer Simulationsergebnisse



Abbildung E.1: Übersicht über die modifizierten Flussbereiche

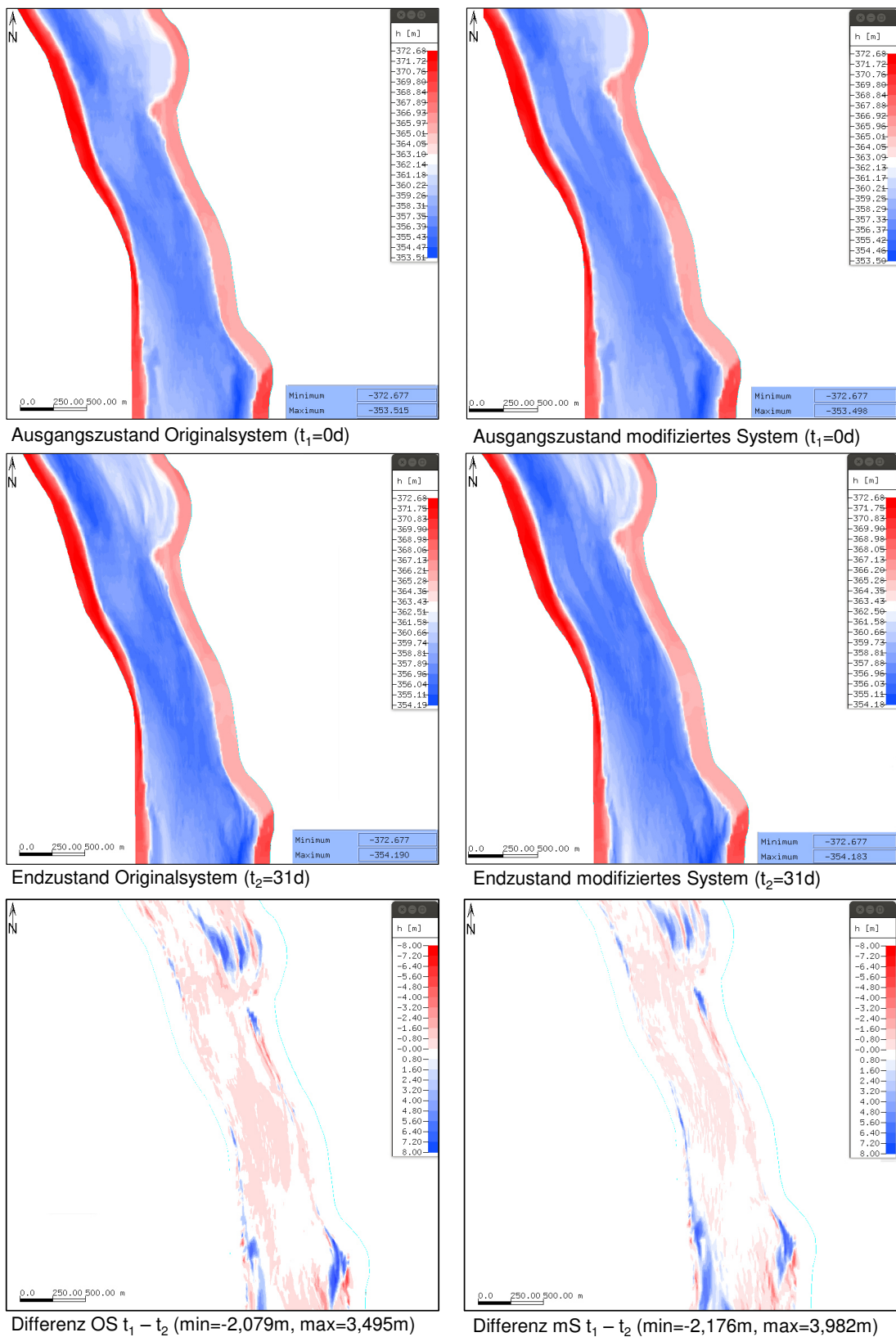
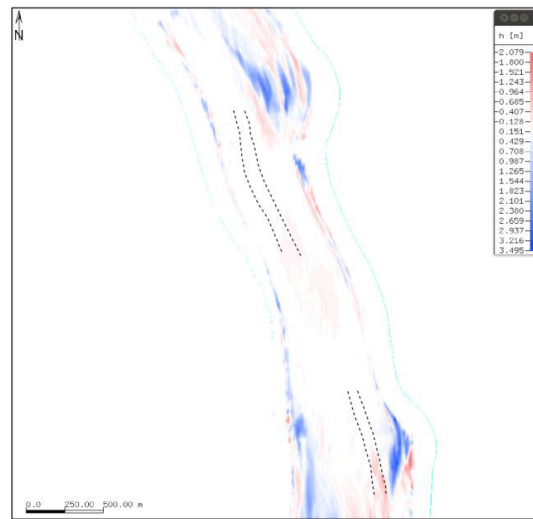
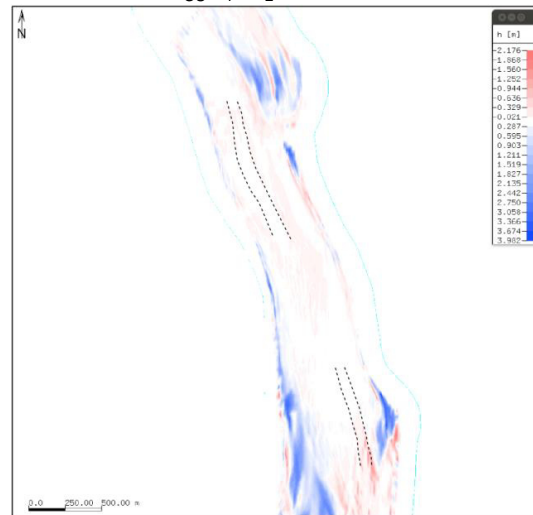


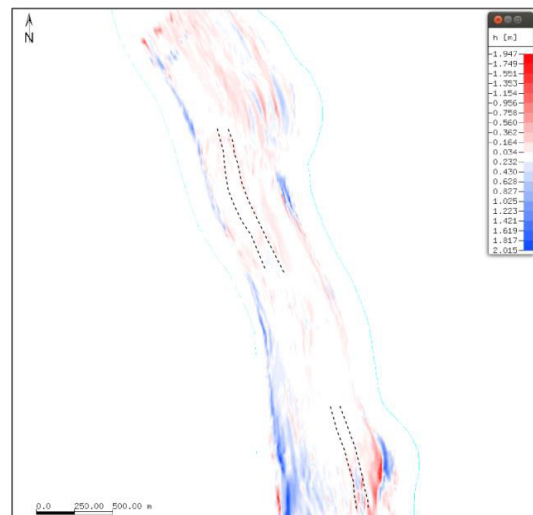
Abbildung E.2: Ergebnisse für den Bereich Koh Don Sao



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,079m, max=3,495m)



Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,176m, max=3,982m)



Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-1,947m, max=2,015m)

Abbildung E.3: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Koh Don Sao

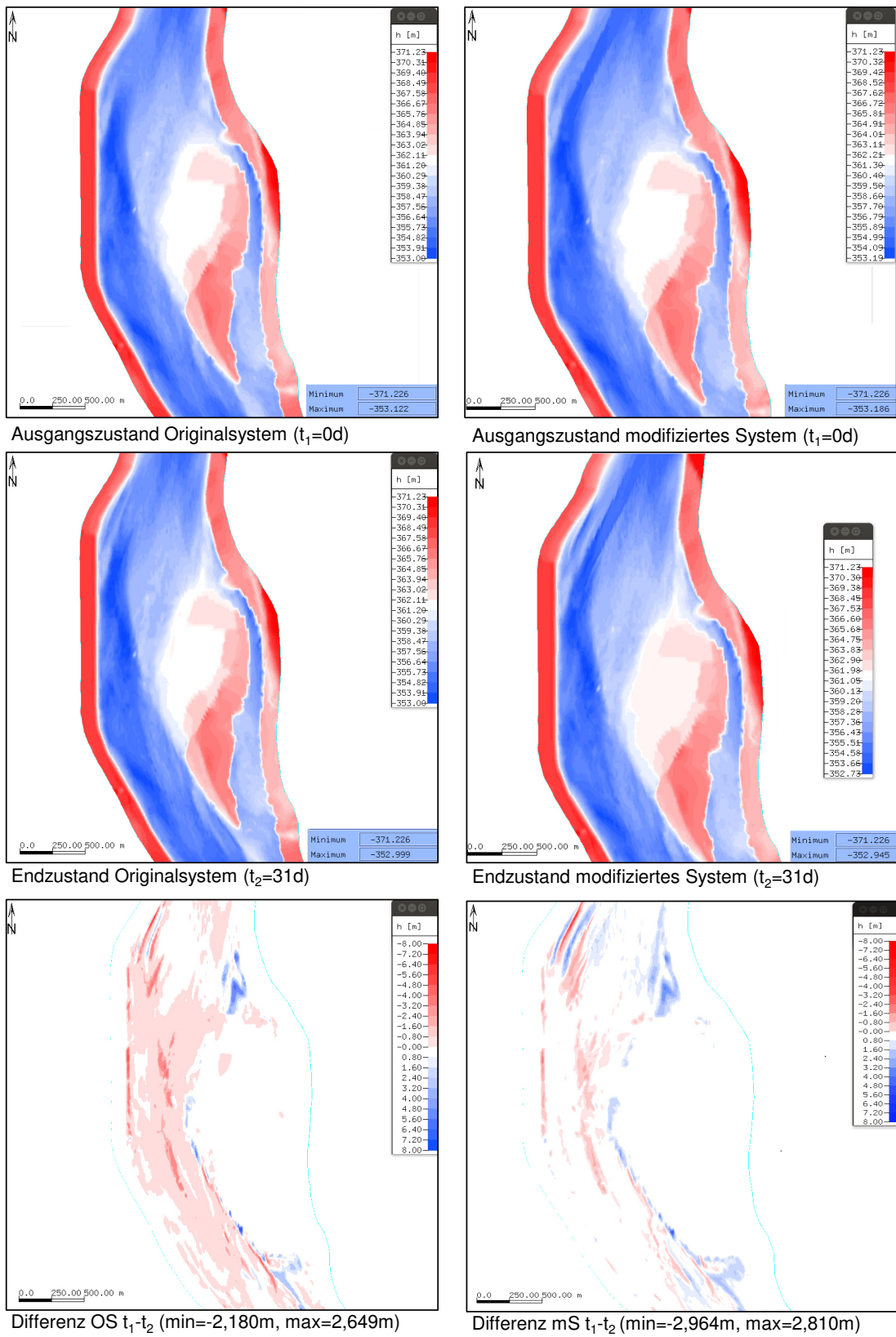
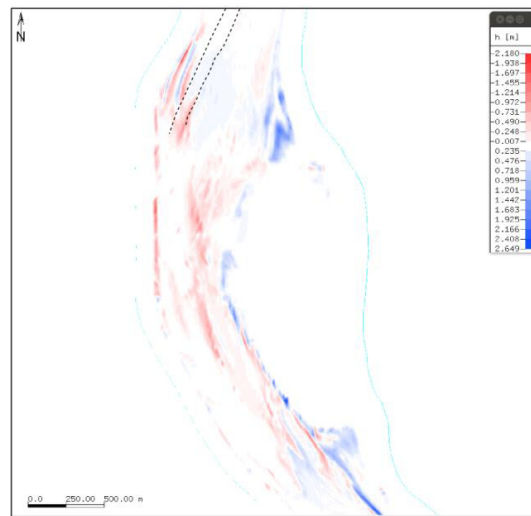
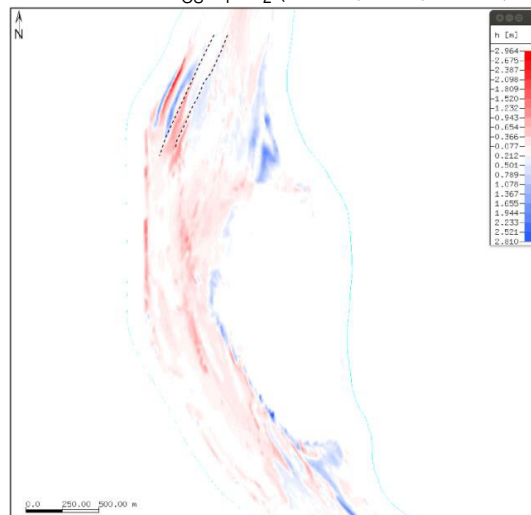


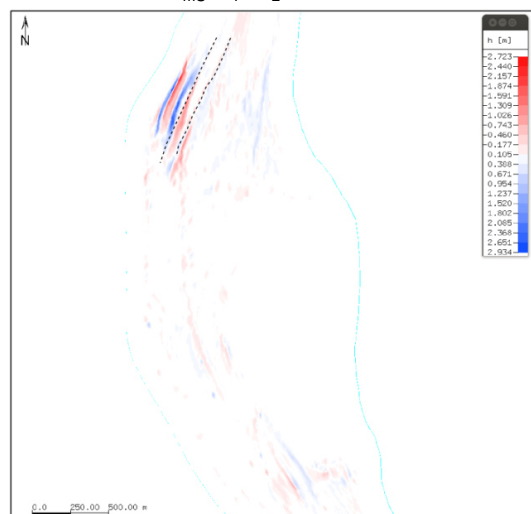
Abbildung E.4: Ergebnisse für den Bereich Chiang Saen



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,180m, max=2,649m)

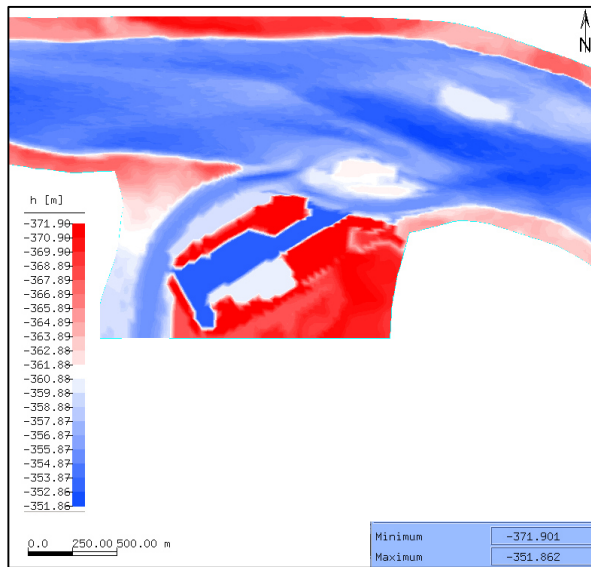


Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,964m, max=2,810m)

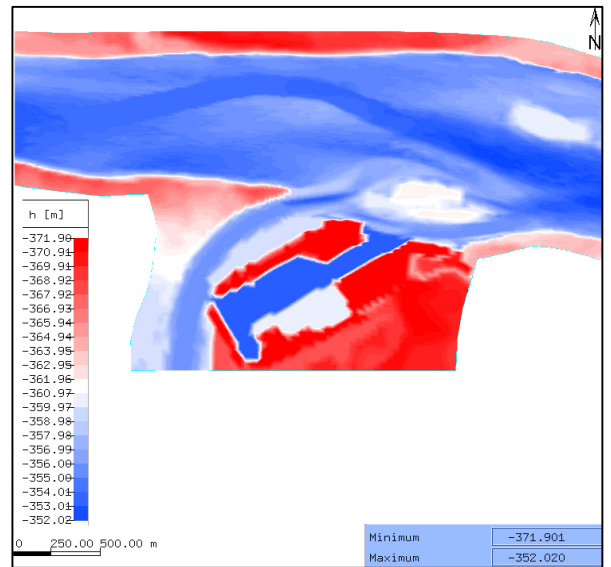


Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-2,723m, max=2,934m)

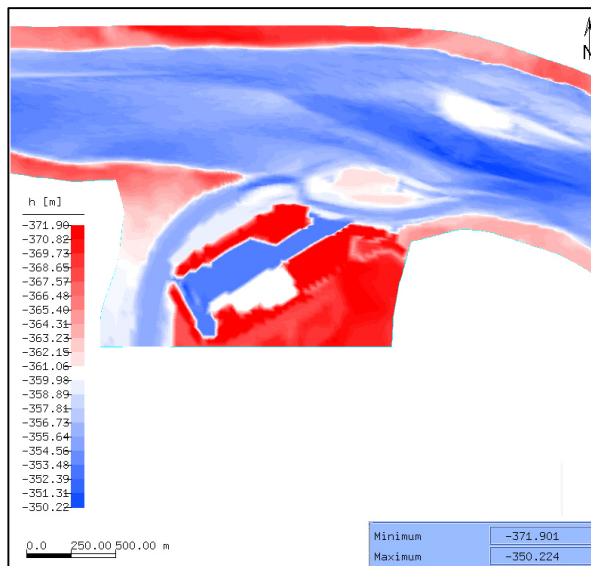
Abbildung E.5: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Chiang Saen



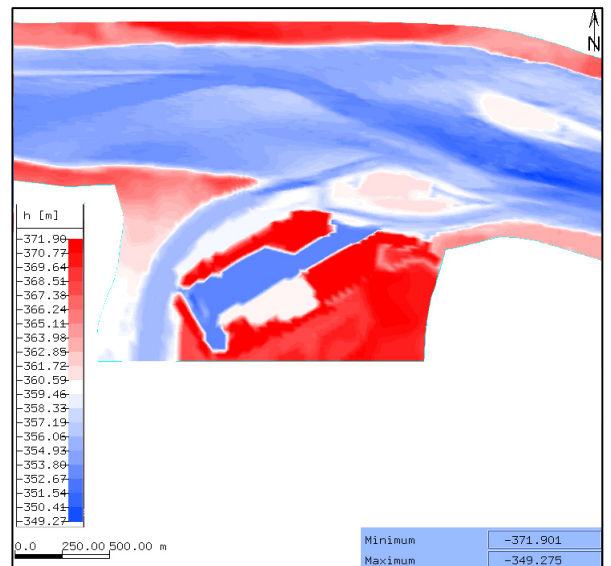
Ausgangszustand Originalsystem ($t_1=0d$)



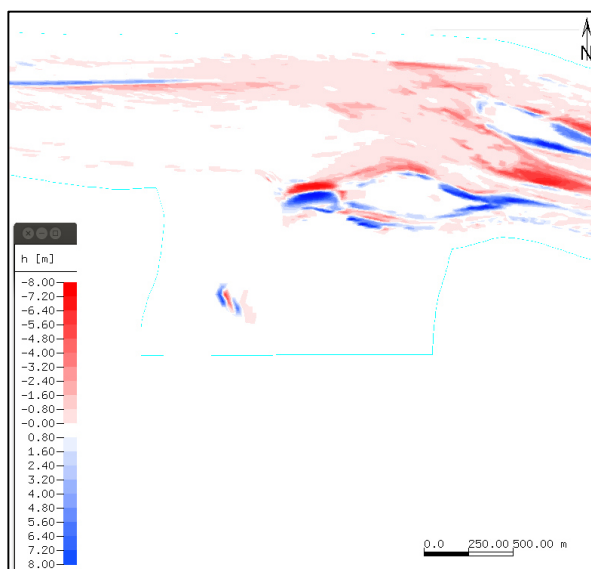
Ausgangszustand modifiziertes System ($t_1=0d$)



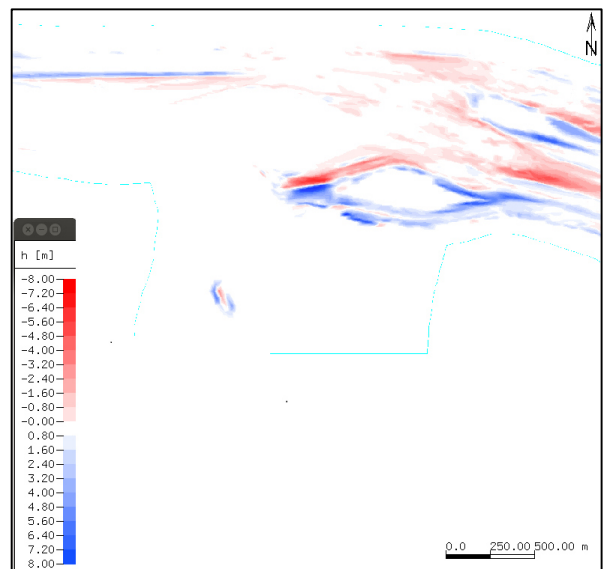
Endzustand Originalsystem ($t_2=31d$)



Endzustand modifiziertes System ($t_2=31d$)

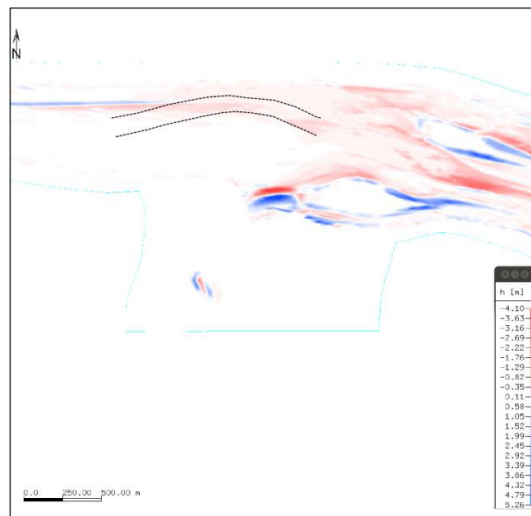


Differenz OS t_1-t_2 (min=-4,096m, max=5,260m)

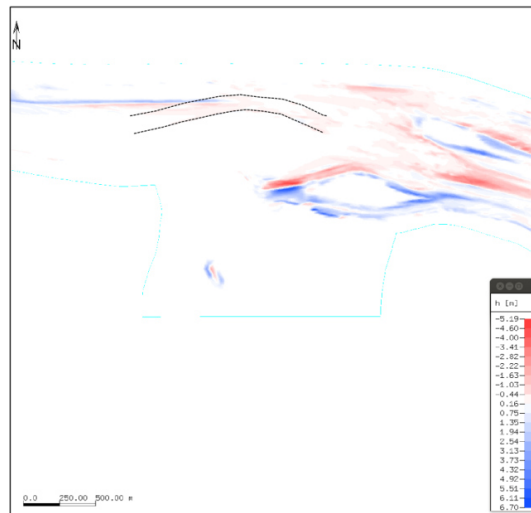


Differenz mS t_1-t_2 (min=-5,194m, max=6,701m)

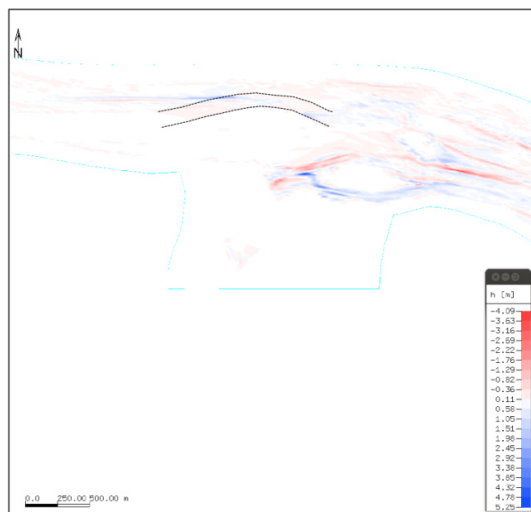
Abbildung E.6: Ergebnisse für den Bereich Sop Kok



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-4,10m, max=5,26m)



Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-5,19m, max=6,70m)



Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-4,09m, max=5,25m)

Abbildung E.7: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Sop Kok

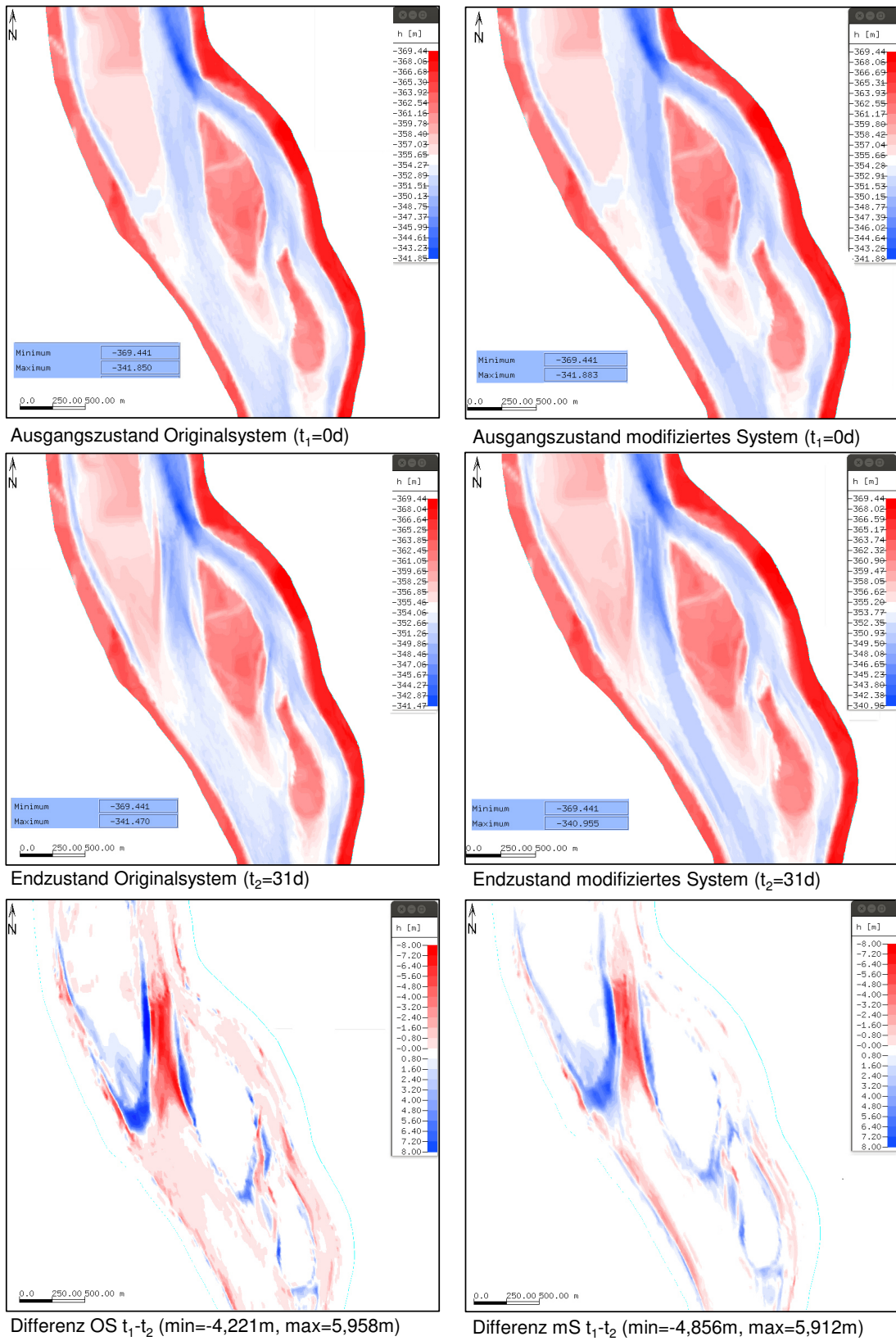
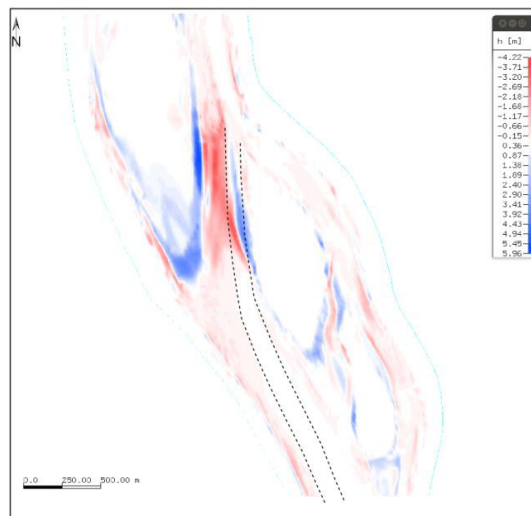
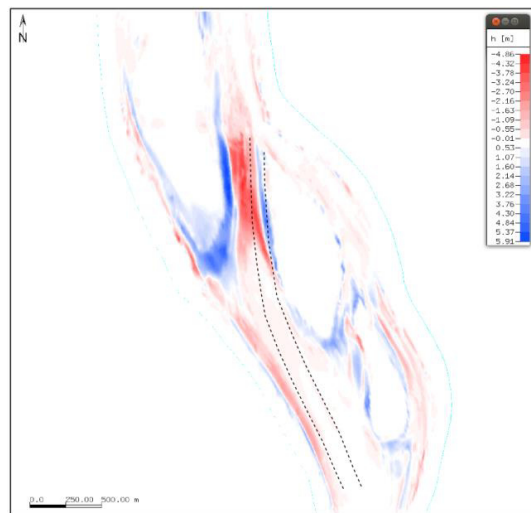


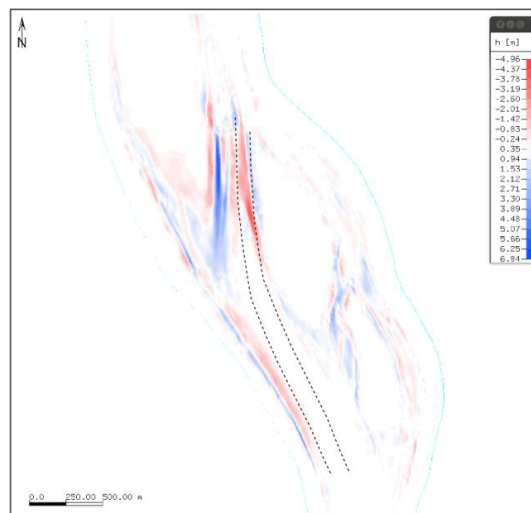
Abbildung E.8: Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-4,27m, max=5,96m)



Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-4,86m, max=5,91m)



Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-4,96m, max=5,91m)

Abbildung E.9: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Ban Saeo

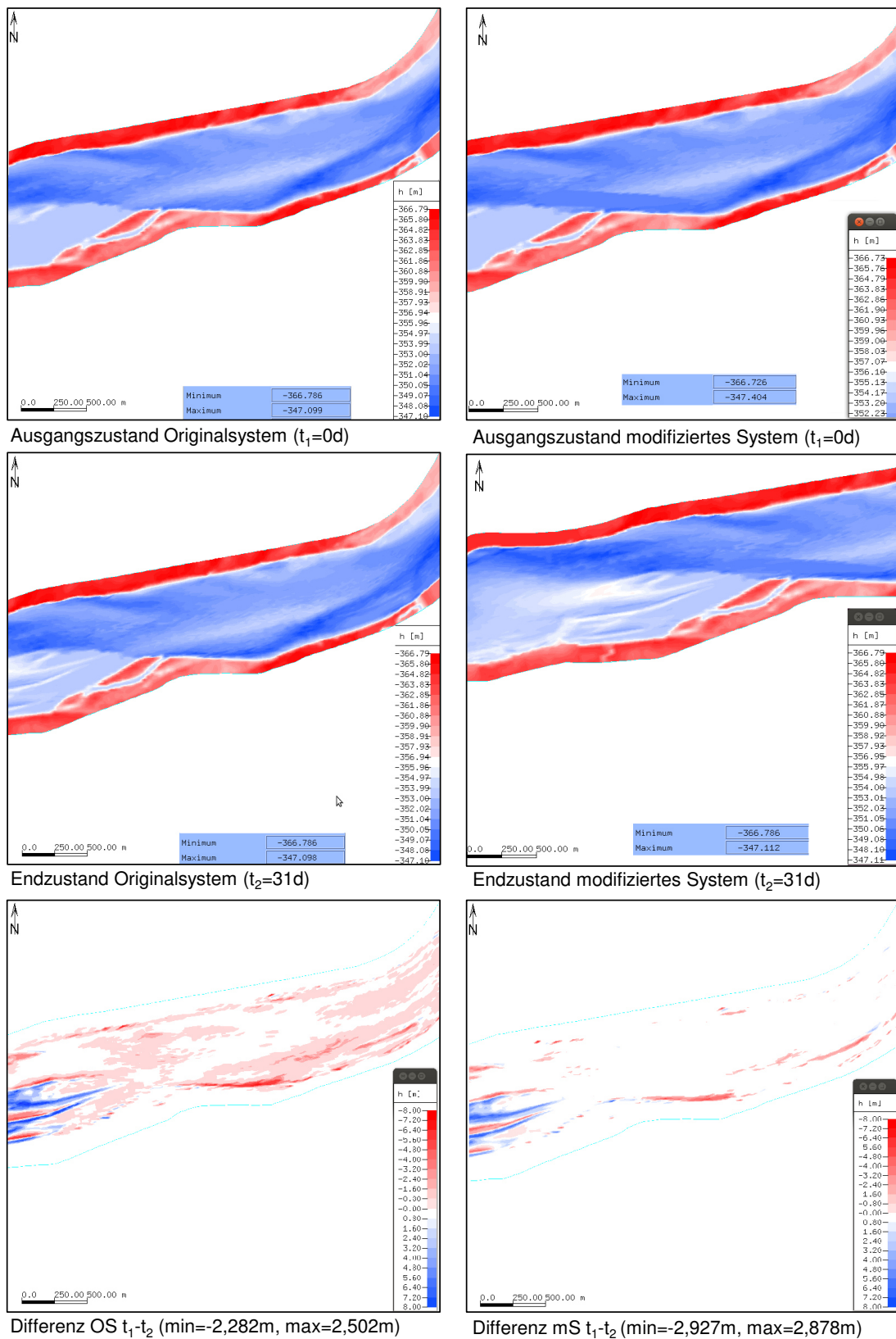
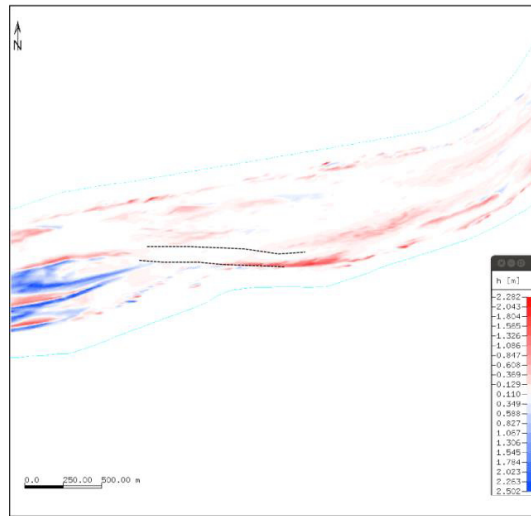
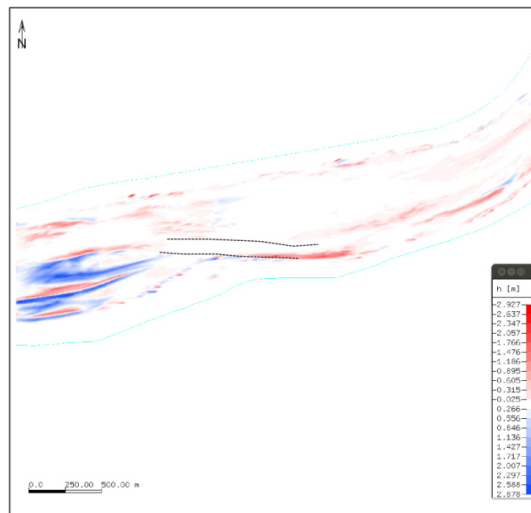


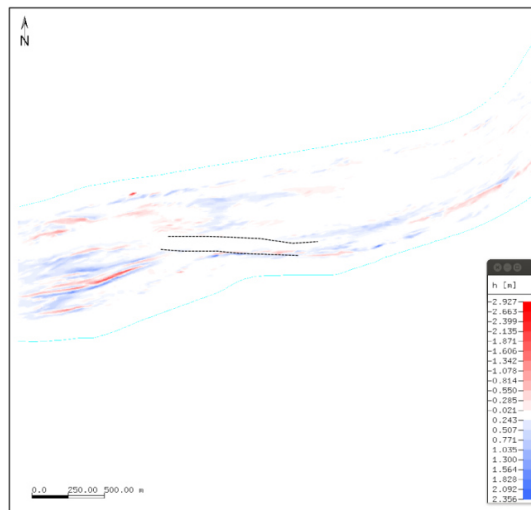
Abbildung E.10: Ergebnisse für den Bereich Pong Khong



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,282m, max=2,502m)

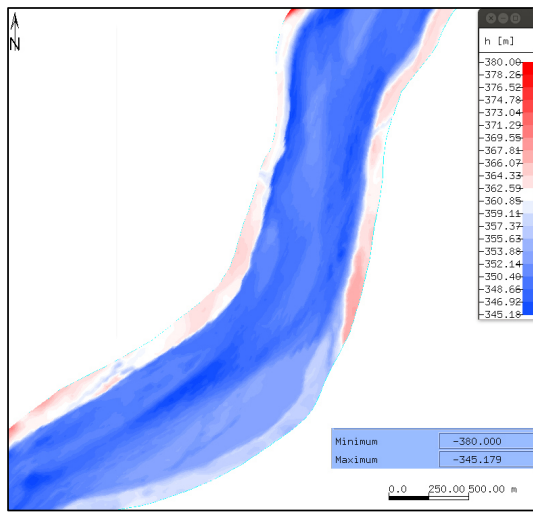


Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-2,927m, max=2,878m)

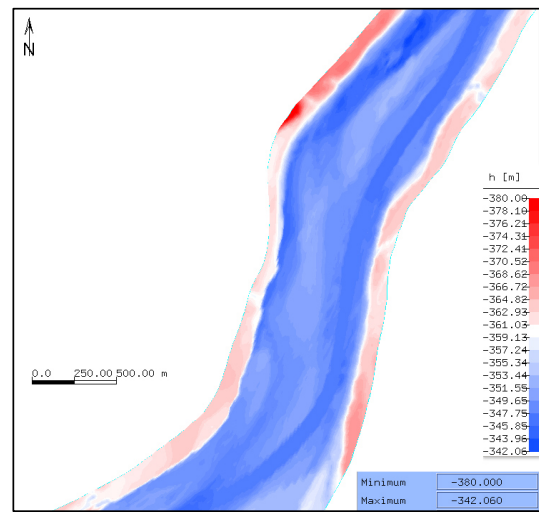


Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-2,927m, max=2,356m)

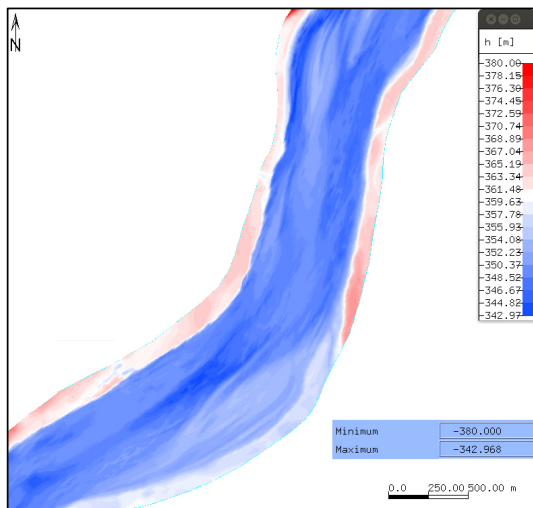
Abbildung E.11: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Pong Khong



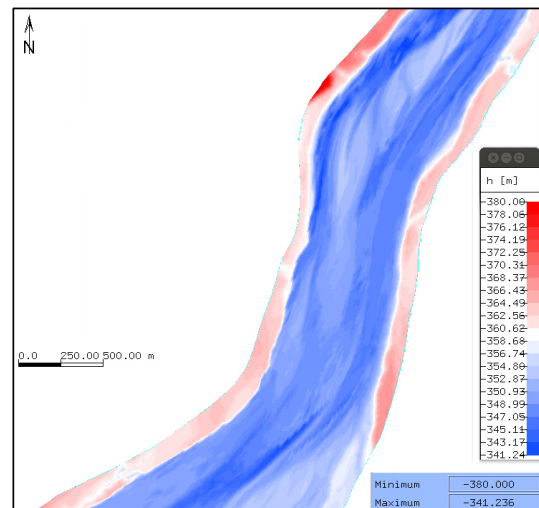
Ausgangszustand Originalsystem ($t_1=0d$)



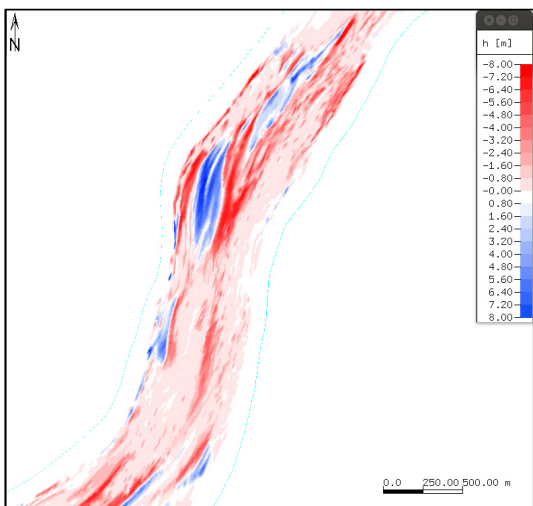
Ausgangszustand modifiziertes System ($t_1=0d$)



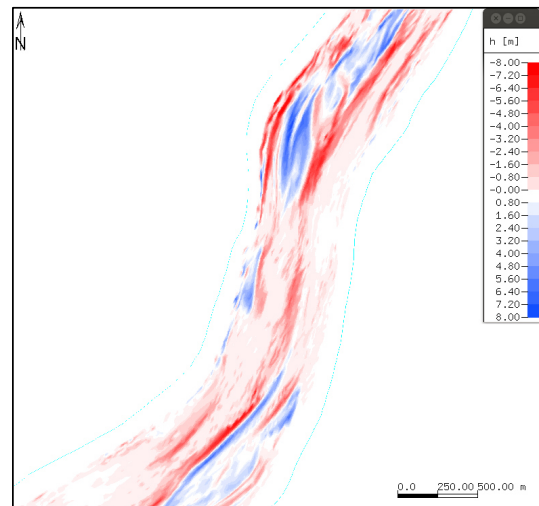
Endzustand Originalsystem ($t_2=31d$)



Endzustand modifiziertes System ($t_2=31d$)

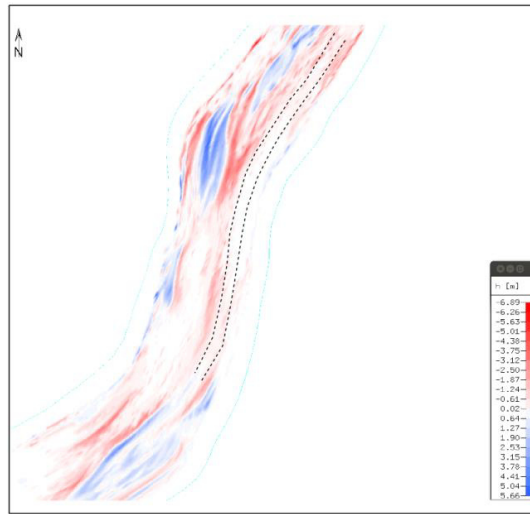


Differenz OS t_1-t_2 (min=-6,889m, max=5,665m)

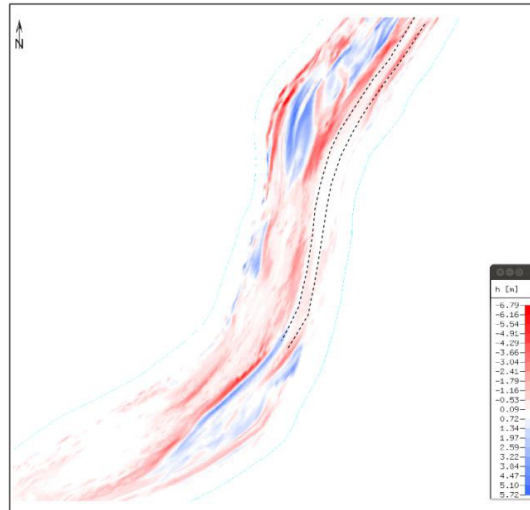


Differenz mS t_1-t_2 (min=-6,789m, max=5,721m)

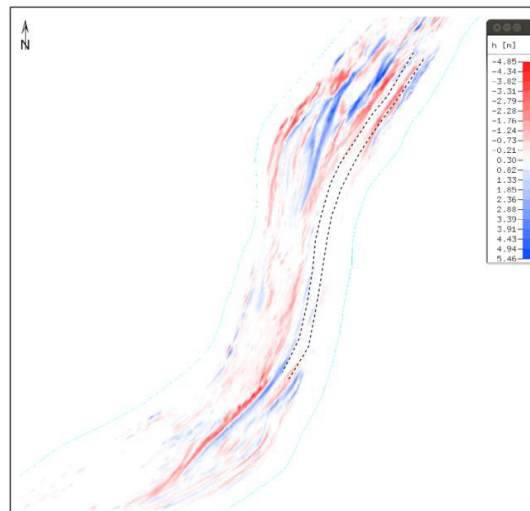
Abbildung E.12: Ergebnisse für den Bereich Had Bai



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-6,89m, max=5,66m)

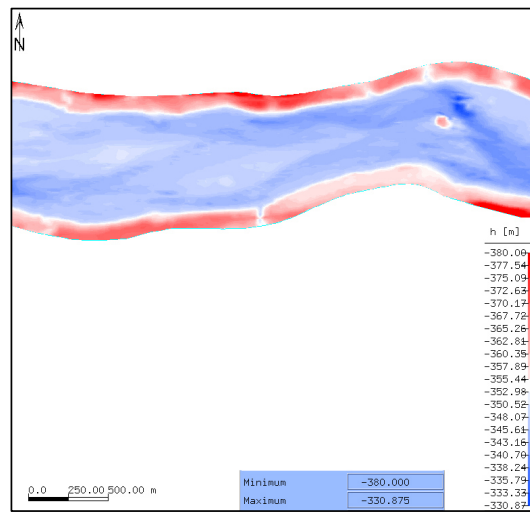


Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-6,79m, max=5,72m)

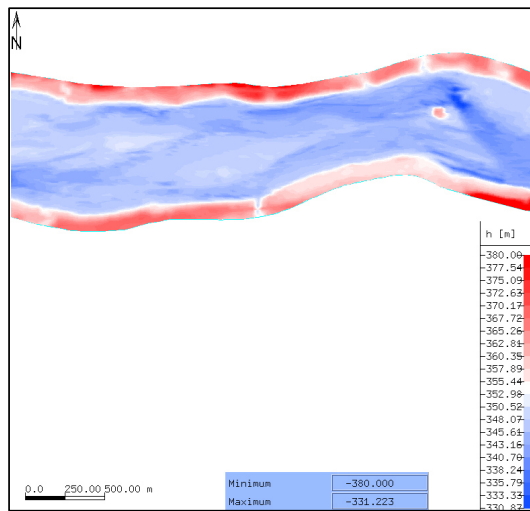


Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-4,85m, max=5,46m)

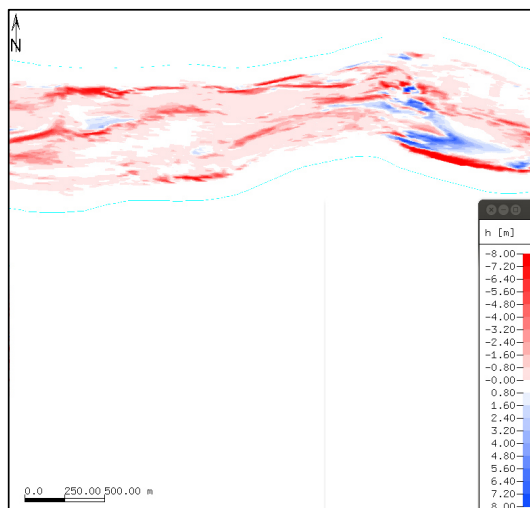
Abbildung E.13: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Had Bai



Ausgangszustand Originalsystem ($t_1=0d$)



Endzustand Originalsystem ($t_2=31d$)



Differenz OS t_1-t_2 (min=-10,001m, max=5,972m)

Abbildung E.14: Ergebnisse für den Bereich Pha Khup

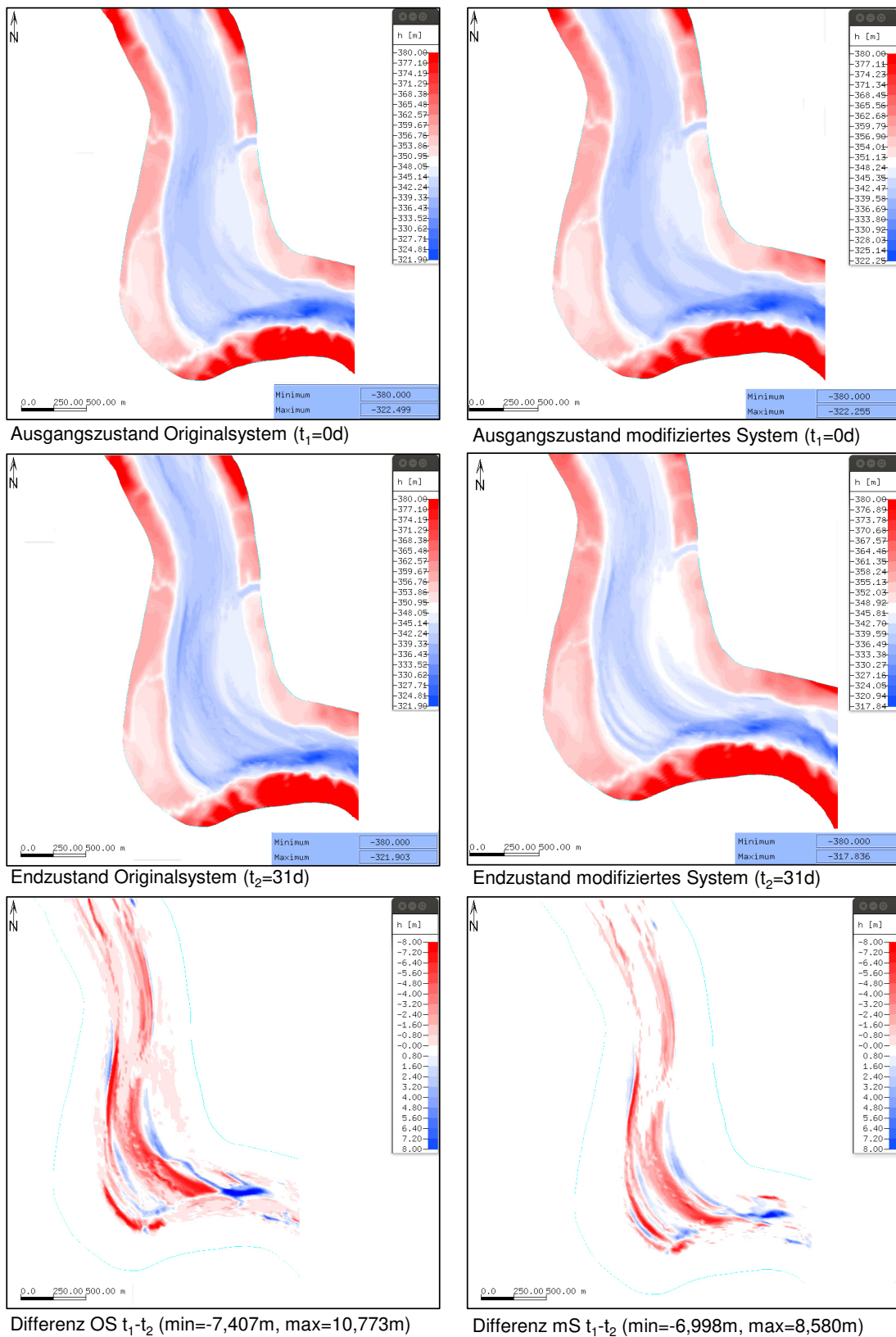
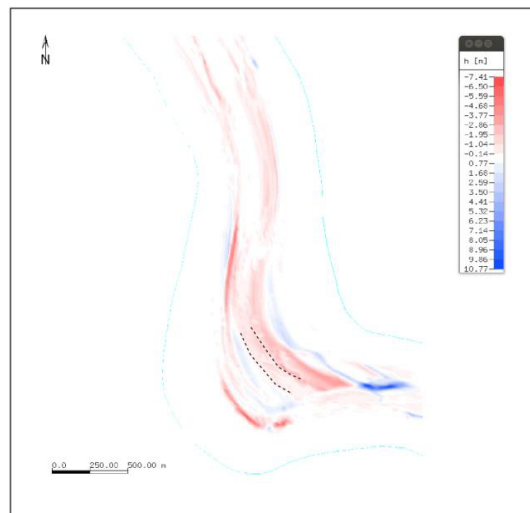
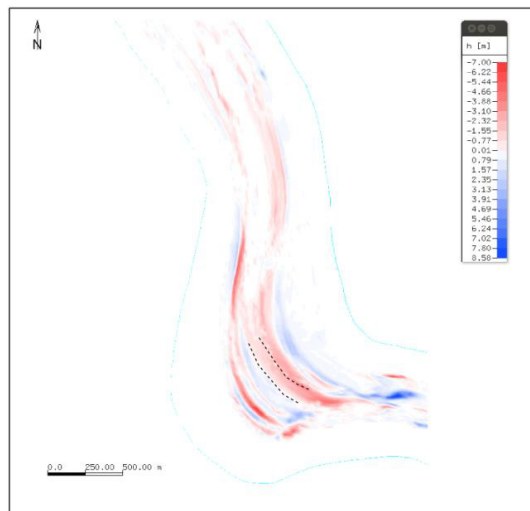


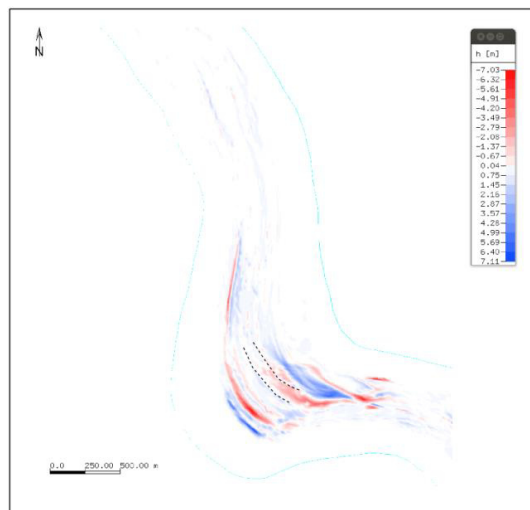
Abbildung E.15: Ergebnisse für den Bereich Muang Kan



Differenz OS: $\text{Diff}_{\text{OS}} = t_1 - t_2$ (min=-7,41m, max=10,77m)

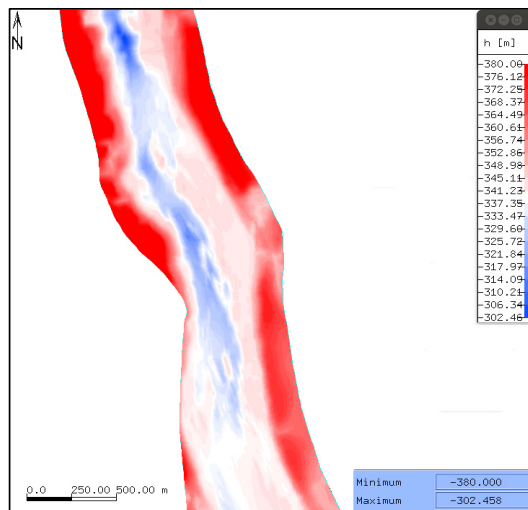


Differenz mS: $\text{Diff}_{\text{mS}} = t_1 - t_2$ (min=-7,00m, max=8,58m)

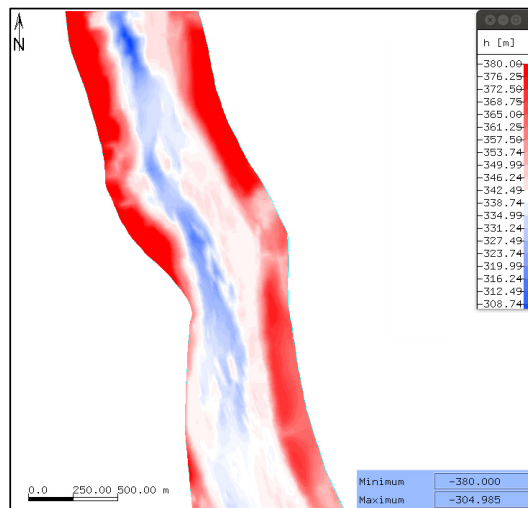


Differenz: $\text{Diff}_{\text{mS}} - \text{Diff}_{\text{OS}}$ (min=-7,03m, max=7,11m)

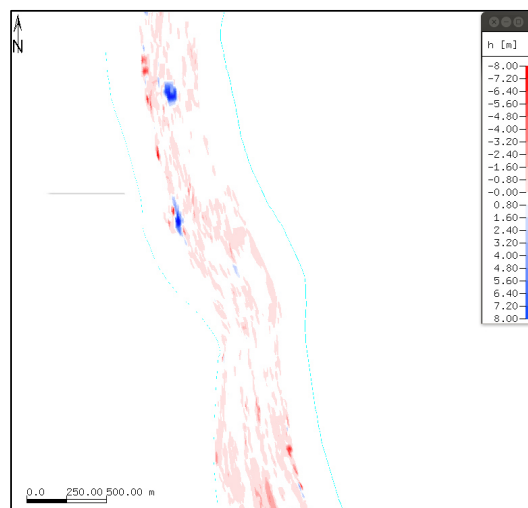
Abbildung E.16: Differenzbildung der Ergebnisse für den Bereich Muang Kan



Ausgangszustand Originalsystem ($t_1=0d$)



Endzustand Originalsystem ($t_2=31d$)



Differenz OS t_1-t_2 (min=-4,672m, max=7,359m)

Abbildung E.17: Ergebnisse für den Bereich Gaeng Gai

Bildnachweis

Bildnachweis

Seite 35, Abbildung 3.4: VV WWS M87 AMS 21 Jan 1954 119 (14638), Royal Thai Survey Department, Royal Thai Armed Forces, Kanlayan Maitri Straße, Phra Ratchawang Subdistrikt, Phra Nakhon Distrikt, Bangkok 10 200, Thailand (กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการกองทัพไทย, ถนนกัลยาณไมตรี, แขวงพระราชวัง, เขตพระนคร, กรุงเทพฯ ๑๐๒๐๐)

Seite 35, Abbildung 3.5: ORTHO 1:4 000 504931438 (2002), Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2003/61 Phahonyothin Strasse, Lard Yao Subdistrikt, Chatuchak Distrikt, Bangkok 10 900, Thailand (กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ๒๐๐๓/๖, ถนนพหลโยธิน, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐)

Seite 73, Abbildung 4.12: Für die Abbildung (angefertigt vom Autor) wurde das Luftbild ORTHO 1:4 000 504914054 (2002) vom Land Development Department verwendet, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2003/61 Phahonyothin Strasse, Lard Yao Subdistrikt, Chatuchak Distrikt, Bangkok 10 900, Thailand (กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ๒๐๐๓/๖, ถนนพหลโยธิน, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐)

Seite 75, Abbildung 4.15: Für die Abbildung (angefertigt vom Autor) wurde das Luftbild ORTHO 1:4 000 504931838 (2002) vom Land Development Department verwendet, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2003/61 Phahonyothin Strasse, Lard Yao Subdistrikt, Chatuchak Distrikt, Bangkok 10 900, Thailand (กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ๒๐๐๓/๖, ถนนพหลโยธิน, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐)

Seite 76, Abbildung 4.16: Für die Abbildung (angefertigt vom Autor) wurde das Luftbild ORTHO 1:4 000 504932238 (2002) vom Land Development Department verwendet, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2003/61 Phahonyothin Strasse, Lard Yao Subdistrikt, Chatuchak Distrikt, Bangkok 10 900, Thailand (กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ๒๐๐๓/๖, ถนนพหลโยธิน, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐)

Seite 80, Abbildung 5.1: aus Zanke [2004]: Kann Hiddensee durchbrechen? Morphodynamische Simulationen im Ostseebereich. In: Jahrbuch der Hafenbautechnik Ges. 54 (2004)

Seite 80, Abbildung 5.2: aus Zanke [2004]: Kann Hiddensee durchbrechen? Morphodynamische Simulationen im Ostseebereich. In: Jahrbuch der Hafenbautechnik Ges. 54 (2004)

Seite 116, Abbildung A.1: VV WWS M87 AMS 21 Jan 1954 119 (14638), Royal Thai Survey Department, Royal Thai Armed Forces, Kanlayan Maitri Straße, Phra Ratchawang Subdistrikt, Phra Nakhon Distrikt, Bangkok 10 200, Thailand (กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการกองทัพไทย, ถนนกัลยาณไมตรี, แขวงพระราชวัง, เขตพระนคร, กรุงเทพฯ ๑๐๒๐๐)

Seite 116, Abbildung A.2: Für die Abbildung (angefertigt vom Autor) wurde das Luftbild VV WWS M87 AMS 21 Jan 1954 119 (14638) vom Royal Thai Survey Department verwendet, Royal Thai Survey Department, Royal Thai Armed Forces, Kanlayan Maitri Straße, Phra Ratchawang Subdistrikt, Phra Nakhon

Distrikt, Bangkok 10 200, Thailand (กรมแผนที่ทหาร,กองบัญชาการกองทัพไทย,ถนนกัลยาณไมตรี, แขวงพระราชวัง, เขตพระนคร, กรุงเทพฯ ๑๐๒๐๐)

Seiten 123-130, Abbildungen C.2-C.9: Für die Abbildungen (angefertigt vom Autor) wurden die Luftbilder ORTHO 1:4 000 (2002) 504941250/504941248 (Abbildung C.2), 504941440 (Abbildung C.3), 504932038 (Abbildung C.4), 504942646 (Abbildung C.5), 504943052 (Abbildung C.6), 504913854/504914054 (Abbildung C.7), 504914248/504944446 (Abbildung C.8) und 504914642 (Abbildung C.9) vom Land Development Department verwendet, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2003/61 Phahonyothin Strasse, Lard Yao Subdistrikt, Chatuchak Distrikt, Bangkok 10 900, Thailand (กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ๒๐๐๓/๖,ถนนพหลโยธิน, แขวงลาดยาว, เขตจตุจักร, กรุงเทพฯ ๑๐๙๐๐)

Alle übrigen Photos und Zeichnungen stammen vom Autor.

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [AAI 2010] AAI, Airports Authority of India: *Häufig gestellte Fragen*. www.aai.aero/public-notice/aaisite-test/faq-gagan.jsp, 6. Januar 2010
- [Abromeit u. a. 2011] ABROMEIT, Uwe ; ALBERTS, Dirk ; BARTNIK, Wolfgang ; FISCHER, Uwe ; FLEISCHER, Petra ; FUEHRER, Manfred ; GESING, Carolin ; HEIBAUM, Michael ; HOLFELDER, Tilman ; KAYSER, Jan ; KNAPPE, Gerd ; KÖHLER, Hans-Jürgen ; LIEBRECHT, Arno ; REINER, Wilfried ; SCHMIDT-VÖCKS, Dieter ; SCHULZ, Hartmut ; SCHUPPENER, Bernd ; SÖHNGEN, Bernhard ; SOYEAX, Renald: Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen. In: *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau GBB2010* (2011). – Bundesanstalt für Wasserbau
- [ADB 2008] ADB, Asian Development Bank: *Greater Mekong Subregion: Maturing and Moving Forward*. -. 6 ADB Avenue, Mandaluyong City, 1550 Metro Manila, Philippinen : Asian Development Bank, 2008
- [ADB 2012] ADB, Asian Development Bank: *Overview Greater Mekong Subregion Economic Cooperation Program*. -. 6 ADB Avenue, Mandaluyong City, 1550 Metro Manila, Philippinen : Asian Development Bank, 2012
- [AoCN 2000] AoCN, Agreement on Commercial Navigation AoCN: (2000). – Agreement on Commercial Navigation on Lancang-Mekong River among the Governments of the People’s Republic of China, the Lao People’s Democratic Republic, the Union of Myanmar and the Kingdom of Thailand, unterzeichnet am 20st April 2000 in der Stadt Tachileik in Myanmar.
- [AoCN 2001] AoCN, Annexures to the Agreement on Commercial Navigation: (2001). – Anhänge I - VI des Agreement on Commercial Navigation on Lancang-Mekong River among the Governments of the People’s Republic of China, the Lao People’s Democratic Republic, the Union of Myanmar and the Kingdom of Thailand, unterzeichnet am 15. März 2001 in der Hauptstadt der Volksrepublik China, Peking.
- [Aquastat 2011] AQUASTAT, FAO: Mekong River Basin, Irrigation in Southern and Eastern Asia in figures - AQUASTAT Survey / Aquastat from Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italien. 2011. – Forschungsbericht. – Aquastat ist das globale Informationssystem der FAO
- [Arunmas 2003] ARUNMAS, Phusadee: *Chiang Rai slated for new projects to facilitate trade*. The Post Publishing PLC, Bangkok Post Building, 136 Sunthorn Kosa Road, Klong Toey, Bangkok 10110, Thailand, 2003. – in: Bangkok Post am 8. Dezember 2003
- [ATV-DVWK 2003] ATV-DVWK, ATV-DVWK-Arbeitsgruppe WW-2.4 “Feststofftransportmodelle”: *Festofftransportmodelle für Fließgewässer*. ATV-DVWK-Arbeitsbericht. Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef, Deutschland : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2003. – ISBN 3-924063-30-3

- [Barthel u. Zanke 1998] BARTHEL, Volker ; ZANKE, Ulrich C. E.: A Morphodynamic Model for River and Estuary Management. In: *Coastal Engineering* Bd. 26. 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191, USA : American Society of Civil Engineers, Juni 1998. – ISSN 2156–1028, S. 2992–3007. – 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark
- [Bauer 2003] BAUER, Manfred: *Vermessung und Ortung mit Satelliten: GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme*. 5. Auflage. Heidelberg, Deutschland : Wichmann, 2003. – ISBN 3–879073–60–0
- [Baum u. a. 1970] BAUM, Fritz ; BRAUN, Eckardt von ; HAHN, Lothar ; HESS, Andreas ; KOCH, Klaus-Erich ; KRUSE, Gerhard ; QUARCH, Holger ; SIEBENHÜNER, Michael: On the Geology of Northern Thailand. In: *Geologisches Jahrbuch* Bd. 102. Hannover, Deutschland : Bundesanstalt für Bodenforschung und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Dezember 1970, S. 23
- [BMVBS 2011] BMVBS, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen*. 2011. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Robert-Schumann-Platz 1, 53175 Bonn, Deutschland : Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt, Referat Wasserstraßenmanagement Binnen, 2011
- [BMVI 2008] BMVI, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Technische Mindestvorschriften für Schiffe auf dem Rhein und auf Binnenwasserstraßen der Zonen 1, 2, 3 und 4 für Fahrzeuge, die ein Schiffsattest beantragen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Robert-Schumann-Platz 1, 53175 Bonn, Deutschland, 2008 (BinSchUO2008Anh II). – Anhang II zur Binnenschiffsuntersuchungsordnung
- [Bodeen 2011] BODEEN, Christopher: *4-nation Mekong patrols to begin Saturday: China*. The China Post, Floor 5, No. 85, Section 1, Zhongxiao East Road, Zhongzheng District, Taipei City 100, Taiwan, 2011. – in: The China Post am 12. Dezember 2011 um 9.48 Uhr unter <http://www.chinapost.com.tw/print/325485.htm>
- [de Carne 1872] CARNE, Louis de: *Travels in Indo-China and the Chinese Empire*. 2000 White Lotus. Chapman and Hall, 193 Piccadilly, London, Großbritannien : Chapman and Hall, 1872. – Original wurde 1872 als *Voyage en Indo-Chine et dans l'Empire Chinois* veröffentlicht
- [Chaimon 2011a] CHAIMON, Chinpat: *Attack on Chinese ships was personal, says Chalerm*. The Post Publishing PLC, Bangkok Post Building, 136 Sunthorn Kosa Road, Klong Toey, Bangkok 10110, Thailand, 2011. – in: Bangkok Post am 30. Oktober 2011 um 8.35 Uhr unter <http://www.bangkokpost.com/print/263830>
- [Chaimon 2011b] CHAIMON, Chinpat: *Burmese soldiers killed on Mekong*. The Post Publishing PLC, Bangkok Post Building, 136 Sunthorn Kosa Road, Klong Toey, Bangkok 10110, Thailand, 2011. – in: Bangkok Post am 30. Oktober 2011 um 9.47 Uhr unter <http://www.bangkokpost.com/print/270333>
- [Chuejeddon 2014] Persönliche Kommunikation mit dem ehemaligen Oberlehrer, Herrn Boonsong Chuejeddon, der Schule Chiang Saen Wittajakom am 2. Juli 2014. Während des Gespräches wurde von Herrn Chuejeddon die Information gegeben, dass der Mekong früher nicht direkt an Chiang Saen vorbeigeflossen sein soll, sondern 2-3 Kilometer mehr östlich. Das alte Flussbett sei der Rong Pa Wai, ein während der Regenzeit gefüllter Wassergraben auf laotischer Seite. Früher wurde auf der bei Sop Ruak gelegene Insel

(Koh Don Khao) von Leuten aus Chiang Saen Reis angepflanzt. Nach der Machtübernahme der Kommunisten in Laos wagten die Bauern dies nicht mehr, da die Insel zu Laos gehört. Heute ist die Insel dicht bewaldet. Es wurde von ihm auch erwähnt, dass eine direkt auf Höhe von Chiang Saen gelegene Insel (in Nordthai Koh Don Haeng bzw. Thai Don Taeng) im Jahr 1958 verschwand, nachdem Antiquitäten- und Goldsucher die Insel komplett umgegraben haben. Im Jahre 1966 war eine große Überschwemmung, bei der das Wasser 1 m in der Innenstadt von Chiang Saen stand.

- [Cocklin u. Hain 2001] COCKLIN, Chris ; HAIN, Monique: Evaluation of the EIA for the Proposed Upper Mekong Navigation Improvement Project / Monash Environment Institute, Monash University, Australien. 2001. – Forschungsbericht. – Report prepared for the Mekong River Commission - Environment Program
- [Damrihkul 2006] DAMRIHKUL, Surapol: *Stadtgebiete und Hua Khuang Tempel, Wichtige Eigenschaften der Städte im Gebiet Lannas (ช่วงเมืองและวัดหัวช่วง, องค์ประกอบสำคัญของเมืองในดินแดนล้านนา)*. 1. Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand : Universität Chulalongkorn Presse, 2006. – 328 S. – ISBN 974-9941-56-X
- [Ding 1993] DING, Weimin: *Report on an Investigation of Waterway Transportation along the Upper Mekong River of China, Laos, Myanmar and Thailand (中老緬泰上湄公河船运联合考察报告)*, by the Upper Mekong Associated Survey Team of China, Laos, Myanmar and Thailand. -. Kunming Stadt, Yunnan Provinz, China : Yunnan Provincial Communications Bureau, 1993
- [Dobler u. a. 2013] DOBLER, Wolfgang ; BARAN, Ramona ; STEINBACHER, Frank ; RITTER, Marcel ; NIEDERWIESER, Manfred ; BENDER, Werner ; AUFLEGER, Markus: Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung. In: *Hydrographische Nachrichten* 95 (2013), Juni, S. 16–22
- [Dore u. Yu 2004] DORE, John ; YU, Xiaogang: Yunnan Hydropower Expansion: Update on China's energy industry reforms and the Nu, Lancang and Jinsha hydropower dams / Chiang Mai University - Unit for Social and Environmental Research (CMU-IUSER), Chiang Mai University, Thailand and Green Watershed, Kunming, China. 2004. – Forschungsbericht. – Report prepared jointly by CMU-IUSER and Green Watershed
- [ECMT 1992] ECMT, European Conference of Ministers of Transport: Resolution No. 92/2 on new Classification of Inland Waterways. CEMT/CM(92)6/FINAL. The Council of Ministers, European Conference of Ministers of Transport (ECMT), Athen, Griechenland, 1992
- [Ehlers 1894] EHLERS, Otto E.: *Im Sattel durch Indo-China*. White Lotus 2001 von Walter E. J. Tips. Kronenstraße 17, Berlin, Deutschland : Allgemeiner Verein für Deutsche Literatur, 1894
- [Eloot u. a. 2015] ELOOT, Katrien ; M.VANTORRE ; ADAMS, R. ; BOSMANS, S. ; BEUKELAER-DOSSCHE, M. de: Design Guidelines versus Practices for the Upper-Seascheldt, the Inland Waterway Connection between Antwerp and Ghent. PIANC - The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure, 2015. – Smart River Conference 2015, Buenos Aires, Argentinien
- [Ferguson u. a. 2011] FERGUSON, John W. ; HEALEY, Michael ; DUGAN, Patrick ; BARLOW, Chris: Potential Effects of Dams on Migratory Fish in the Mekong River: Lessons from Salmon in the Fraser and Columbia

- Rivers. In: *Environmental Management* Bd. 47. New York, USA : Springer Science+Business Media LLC, 2011, S. 141–159
- [Fischer u. a. 2014] FISCHER, Nicolas ; TREIBER, Martin ; SÖHNGEN, Bernhard: Modeling and Simulating Traffic Flow on Inland Waterways. PIANC - The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure, 2014. – PIANC World Congress, San Francisco, USA
- [Fu u. a. 2007] FU, K.D. ; HE, Daming ; LU, X.X.: Sedimentation in the Manwan reservoir in the Upper Mekong and its downstream impacts. In: *Quaternary International* doi:10.1016/j.quaint.2007.09.041 (2007)
- [Gakstatter 2008] GAKSTATTER, Eric: *Perspectives - late April 2008*. North Coast Media, 1360 E. 9th Street, Suite 1070, Cleveland, OH 44114, USA, 15. April 2008. – <http://gpsworld.com/surveyperspectives-late-april-2008-7289/>
- [Garnier 1872] GARNIER, Francis: *The Mekong Exploration Commission Report (1866 - 1868)*. White Lotus (1996). Chapman and Hall, 193 Piccadilly, London, Großbritannien : Hachette and Cie, Paris and Reprinted by White Lotus Co. Ltd., G.P.O. Box 1141, Bangkok 10501, Thailand, 1872. – Original wurde 1869 - 1871 als Voyage d'Exploration en Indo-Chine veröffentlicht, übersetzt 1996 von Dr. Walter E.J. Tips
- [GMSS 2013] GMSS, Greater Mekong Subregion Secretariat: Regional Investment Framework Pipeline of Potential Project (2013-2022) GMS Secretariat, South Asian Department, Asian Development Bank, Manila, 2013 (rev 2014). – 19th GMS Ministerial Conference in Vientiane, Laos 10-11 December 2013
- [Grabowsky 2004] GRABOWSKY, Volker: *Bevölkerung und Staat in Lan Na, Ein Beitrag zur Bevölkerungsgeschichte Südostasiens*. 1. Wiesbaden, Deutschland : Harrassowitz Verlag, 2004. – 609 S. – ISBN 3-447-05111-6
- [Halls u. a. 2013] HALLS ; CONLAN, A.S.I. ; WISESJINDAWAT, W. ; PHOUTHAVONGS, K. ; VIRAVONG, S. ; CHAN, S. ; VU, V.A.: Atlas of deep pools in the Lower Mekong River and some of its tributaries / Mekong River Commission. 2013 (ISSN: 1683-1489). – Forschungsbericht. – MRC Technical Paper No. 31
- [He u. a. 2006] HE, Daming ; FENG, Yan ; GAN, Shu ; DARRIN, Magee ; YOU, Weihong: Transboundary hydrological effects of hydropower dam construction on the Lancang River. In: *Chinese Science Bulletin* 51 (2006), April, S. 16–24. – ISSN doi:10.1007/s11434-006-0016-9
- [Heine u. a. 2005] HEINE, Erwin ; MADER, Hartmut ; MAYR, Peter ; SATTLER, Stefan: Hydrographische Vermessung von Gewässersohlen von kleinen und mittelgroßen Flussläufen unter Einsatz gekoppelter GPS/Tachymat-Ortungsverfahren. Universität für Bodenkultur Wien, 2005. – Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005
- [Herling 2006] HERLING, Johann F.: Staudämme in der Oberen-Mekong-Region Analyse der Auswirkungen auf die Anrainerstaaten des Mekongs / Department of Southeast Asian Studies Humboldt-University, Berlin. 2006 (No. 30). – Forschungsbericht. – SÜDOSTASIEN Working Papers
- [Hirsch u. Cheong 1996] HIRSCH, Philip ; CHEONG, Gerard: Natural Resource Management in the Mekong River Basin: Perspectives for Australian Development Cooperation / University of Sydney. 1996. – Forschungsbericht. – Final overview report to AusAID

- [Humminbird 2009] HUMMINBIRD: *798c and 798ci SI Combo Operations Manual*. -. Humminbird, 678 Humminbird Lane, Eufaula AL 36027, USA, 2009
- [Hung 2011] HUNG, Nguyen N.: *Sediment dynamics in the floodplain of the Mekong Delta, Vietnam*. ISBN: 978-3-942036-12-2. Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart (Vaihingen), Deutschland : Eigenverlag des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart, 2011
- [ICEM 2010] ICEM, International Centre for Environmental Management: *MRC Strategic Environmental Assessment (SEA) of hydropower of the Mekong mainstream*. Hanoi, Vietnam : Mekong River Commission, 2010
- [IMC 1988] IMC, Interim Mekong Committee: *Perspectives for Mekong development, Revised indicative plan (1987) for the development of land, water and related resources of the lower Mekong basin*. Committee report. Pibultham Villa, Kasatsuk Bridge, Rama I Road, Bangkok 10330, Thailand : Interim Committee for Coordination of Investigations of the Lower Mekong Basin, 1988
- [IR 2013] IR, International Rivers: *Lancang River Dams: Threatening the flow of the Lower Mekong*. 2150 Allston Way, Suite 300, Berkeley, CA 94704, USA : International Rivers, 2013
- [Irish u. Lillycrop 1999] IRISH, Jennifer L. ; LILLYCROP, W. J.: Scanning laser mapping of the coastal zone: the SHOALS system. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (1999), S. 123–129
- [Jaemjiddt 2014] Persönliche Kommunikation mit Herrn Charin Jaemjiddt (ชรินทร์ แจ่มจิตต์), Experte für alte Nordthaischriften in Chiang Rai, über die Erwähnung des Mekong in historischen Aufzeichnungen am 21. August 2014.
- [JEWG 2000] JEWG, The Joint Experts Working Group of China, Laos, Myanmar and Thailand: *The Joint Survey Report on the Feasibility of the Waterway Improvement Project in the Upper Mekong River from China-Myanmar Boundary Marker 243 to Ban Houay Xai of Laos*. 2000. – Forschungsbericht. – Machbarkeitsstudie
- [JEWG 2001] JEWG, The Joint Experts Working Group of China, Laos, Myanmar and Thailand: *Conceptual Design Report on Local Channel Improvement Project of Upper Mekong River (From China-Myanmar Boundary Marker 243 to Ban Houei Sai of Laos) / The Joint Experts Working Group of China, Laos, Myanmar and Thailand*. 2001 (-). – Forschungsbericht. – Annex 1
- [Jinnikon 2014] Persönliche Kommunikation mit dem Direktor des Hafens Chiang Saen II, Herr Vira Jinnikon (คุณวิระ จินนิกร) am 27. Juni 2014. Während des Gespräches wurde von Herrn Jinnikon eine Tabelle mit der Entwicklung der Schiffsankünfte in den letzten 10 Jahren im Hafen und eine Tabelle mit den Schiffsankünften nach Beflaggung des letzten Jahres überreicht
- [Kummu u. Varis 2006] KUMMU, Matti ; VARIS, Olli: Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower Mekong River. In: *Geomorphology* 54 (2006), S. 275–293 (2007). – ISSN doi:10.1016/j.geomorph.2006.03.024
- [Lattermann 2010] LATTERMANN, Eberhard: *Wasserbau-Praxis mit Berechnungsbeispielen*. 3. Auflage. Berlin, Deutschland : Bauwerk Verlag, 2010. – ISBN 3–410216–16–2

- [Laugafaeng 2014] Persönliche Kommunikation mit einer Mitarbeiterin des Hafens Chiang Khong, Frau Tantiwa Laugafaeng (คุณธันทิวา เหล่ากาแฝง) am 15. Juli 2014. Während des Gespräches wurde von Frau Laugafaeng eine Tabelle mit der Entwicklung der Schiffsankünfte in den letzten 3 Jahren im Hafen übergeben
- [Lazarus u. a. 2006] LAZARUS, Kate ; DUBEAU, Pierre ; BAMBARADENIYA, Channa ; FRIEND, Richard ; SYLAVONG, Latsamay: *An Uncertain Future: Biodiversity and Livelihoods along the Mekong River in Northern Lao PDR*. - 082/01 Fa Ngum Road, Ban Watt Chanh, P.O. Box 4340, Vientiane, Laos : The World Conservation Unit (IUCN), Bangkok, Thailand and Gland, Switzerland, 2006. - ISBN 2-8317-0956-3
- [Le-Huu u. Nguyen-Duc 2003] LE-HUU, Ti ; NGUYEN-DUC, Lien: *Mekong Case Study / UN-ESCAP*. 2003 (-). - Forschungsbericht
- [Lu u. Siew 2006] LU, X.X. ; SIEW, R.Y.: Water discharge and sediment flux changes over the past decades in the Lower Mekong River: possible impacts of the Chinese dams. In: *Hydrology and Earth System Science* 10 (2006), S. 181-195
- [Magee 2012] MAGEE, Darrin: *The Dragon Upstream: China's Role in Lancang-Mekong Development*. Chapter 9 in 'Politics and Development in a Transboundary Watershed' (Author: Öjendal et. al.). Van Godewijkstraat 30, 3311 GX Dordrecht, Niederlande : Springer Netherlands, 2012. - 171-193 S. - ISBN 978-94-007-0476-3
- [Mahitthirook 2015] MAHITTHIROOK, Amornrat: *Train construction in Sept: Prajin*. Bangkok Post Building, 136 Sunthorn Kosa Road, Klong Toey, Bangkok 10110, Thailand, 2015. - in: Bangkok Post am 15. Januar 2015 um 19.18 Uhr unter <http://www.bangkokpost.com/print/457067>
- [Mandlbürger u. a. 2009] MANDLBURGER, G. ; HÖFLE, B. ; BRIESE1, C. ; RESSL1, C. ; OTEPKA, J. ; HOLLAUS, M. ; PFEIFER1, N.: Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 61 (2009), S. 7-8; 89-97
- [MC 1970] MC, Mekong Committee: *Report on Indicative Basin Plan / Committee for the Coordination of Investigation of the Lower Mekong Basin*. 1970 (-). - Forschungsbericht. - A Proposed Framework for the Development of Water and Related Resources of the Lower Mekong Basin
- [MDPAT 2009] MDPAT, Marketing Department Port Authority Thailand: *Die Häfen Chiang Saen und Chiang Khong (ท่าเรือเชียงแสนและเชียงของ)*. - 444 Tha Rua Road, Klong Toey, Bangkok 10110, Thailand : Port Authority of Thailand (PAT), 2009
- [Mewis 2002] MEWIS, Peter: *Morphodynamisch-numerische Modellierung von Flusskurven*. Mitteilungen: Heft 126. Rundeturmstraße 1, 64283 Darmstadt, Deutschland : Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 2002. - 138 S. - ISBN 3-936146-04-7
- [Mewis u. Holz 1993] MEWIS, Peter ; HOLZ, Klaus-Peter: A Quasi Bubble-Function Approach for shallow Water Waves. In: *Advances in Hydro-Science and -Engineering* 1 (1993), S. 768-774
- [Mirumachi u. Nakayama 2007] MIRUMACHI, Naho ; NAKAYAMA, Mikiyasu: Improving Methodologies for Transboundary Impact Assessment in Transboundary Watercourses: Navigation Channel Improvement

Project of the Lancang-Mekong River from China-Myanmar Boundary Marker 243 to Ban Houei Sai of Laos. In: *Water Resource Development* 23 (2007), S. 411–425

- [MOCC 2014] MOCC, Ministry of Commerce Chiang Rai: *Daten zur Entwicklung des Außenhandels*. Ministry of Commerce Chiang Rai (ศูนย์ส่งเสริมการค้าขายแดนกับประเทศเพื่อนบ้านจังหวัดเชียงราย สำนักงานพาณิชย์ จังหวัดเชียงราย), Chiang Rai City Hall, Maefaluang Straße T. Rimkok, A. Muang, Chiang Rai 57100, 2014. – Daten zur Entwicklung des Außenhandels wurden im Juni und Juli 2014 vom Büro des Finanzministerium in Chiang Rai (Ministry of Commerce, Chiang Rai) übergeben, sie können zum Teil auch auf der Internetseite www.moc.go.th/opscenter/cr/border-t.htm heruntergeladen werden
- [MRC 1995a] MRC, Mekong River Commission: *Mekong River Commission towards Sustainable Development*. Annual Report. Public Information Unit, MRC Secretariat, Kasatsuk Bridge, Rama I Road, Bangkok 10330, Thailand : Mekong River Commission Secretariat, 1995
- [MRC 1995b] MRC, Mekong River Commission: *Agreement on the Cooperation for the Sustainable Development of the Mekong River Basin*. 4. 364 M.V. Phsar Doerm Thkouv, Khan Chamkar Mon, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission Secretariat, 1995, 2002
- [MRC 1996] MRC, Mekong River Commission: *Hydrographic Map of Mekong River, Lao PDR und Thailand, km 2373 - 2287 with sheet No 2-001 to 2-014 and km 1725 - 1669 with sheet No 2-015 to 2-024 Hydrographic Map of Mekong River*. No. 184, Unit 18, Fa Ngoum Rd., Ban Sithane Neua, Sikhottabong District, Vientiane 10100, Laos, 1996. – Datensätze können bei MRC bestellt werden. Siehe hierzu www.mrcmekong.org.
- [MRC 2002] MRC, Mekong River Commission: *The Story of the Mekong Cooperation*. P.O. Box 6111, Fa Ngoum Rd., Ban Sithane Neua, Sikhottabong District, Vientiane 01000, Laos : Mekong River Commission, 2002. – 22 S. – Neuauflage 2010
- [MRC 2003a] MRC, Mekong River Commission: *MRC Navigation Strategy*. The Mekong River Commission Secretariat, P.O. Box 1112, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission, 2003
- [MRC 2003b] MRC, Mekong River Commission: *State of the Basin Report*. 1. P.O. Box 1112, 364 Monivong, Boulevard, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission, 2003. – 44 S. ISSN 1680–4023
- [MRC 2010] MRC, Mekong River Commission: *State of the Basin Report 2010 Summary*. -. PO Box 6101, Unit 18 Ban Sithane Neua, Sikhottabong District, Vientiane 01000, Laos : Mekong River Commission, 2010
- [MRC 2011a] MRC, Mekong River Commission: *Planning Atlas of the Lower Mekong River Basin*. Office of the Secretariat in Phnom Penh (OSP), 576 National Road, No 2, Chak Angre Krom, P.O. Box 623, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission, 2011. – 101 S.
- [MRC 2011b] MRC, Mekong River Commission: *Planning Atlas of the lower Mekong River Basin / Mekong River Commission*. 2011. – Forschungsbericht. – MRC Basin Development Programme
- [MRC 2013a] MRC, Mekong River Commission: *Mekong River Basin Planning: The Basin Development Plan Story*. 1. Office of the Secretariat in Phnom Penh (OSP), 576 National Road, No 2, Chak Angre Krom, P.O. Box 623, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission, 2013

- [MRC 2013b] MRC, Mekong River Commission: *Mekong Vessel Inspection Scheme*. 1. Office of the Secretariat in Phnom Penh (OSP), 576 National Road, No 2, Chak Angre Krom, P.O. Box 623, Phnom Penh, Kambodscha : Mekong River Commission Navigation Programme, 2013
- [Nakoinz 2010] NAKOINZ, Hauke: *Wasserstraßen - Schifffahrt - Umwelt; Handbuch für den Beruf Wasserbaue-
rin/Wasserbauer*. Berufsbildungszentrum Koblenz der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Hafenstraße
1, 56070 Koblenz, Deutschland : Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Berufsbildungszentrum Ko-
blenz, 2010
- [Newell u. a. 1956] NEWELL, Robert J. ; DARLING, H. V. ; TOMLINSON, George E.: Lower Mekong River Basin,
A Reconnaissance Report / United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 1956 (ISSN:
1683-1489). – Forschungsbericht. – A Reconnaissance Report prepared for International Cooperation
Administration
- [Nguyen 1999] NGUYEN, Thi D.: *The Mekong River and the struggle for Indochina*. 88 Post Road West,
Westport, CT 06881, USA : Praeger Publishers, 1999. – ISBN 0-275-96137-0
- [Niemeyer u. a. 2014] NIEMEYER, J. ; KOGUT, T. ; HEIPKE, C.: Airborne Laser Bathymetry for Monitoring
the German Baltic Sea Coast. In: *Gemeinsame Tagung 2014 der DGfK, der DGPF, der GfGI und des GiN*
Bd. DGPF Tagungsband 23, 2014, S. 123–129
- [Ongdee 2014] ONGDEE, Sasithorn: Rail network key for urban planning, experts push for dual-track
system. In: *The Nation*, 1858/129 Floor 32, Bangna-Trat Road, Bangna, Bangkok 10260, Thailand 39, NO
54134 (2014), August, S. 2A
- [Ongsakul 2005] ONGSAKUL, Sarassawadee: *History of Lanna*. English edition. 6 Sukkasem Road, T.
Suthep, Chiang Mai 50200, Thailand : Silkworm Books, 2005. – Thai edition first published in 1986 als
ประวัติศาสตร์ล้านนา vom selben Author สวัสดิ์ อ่องสกุล
- [Osborne 1975] OSBORNE, Milton: *River Road to China*. -. London George Allen and Unwin, Ltd., Ruskin
House Museum Street, London, Großbritannien : London George Allen and Unwin, Ltd., 1975
- [Penth 1996] PENTH, Hans: *The Chiang Mai Chronicle*. First Edition. 54/1 Sridonchai Road, Mueang Chiang
Mai 50100, Thailand : Silkworm Books, 1996. – ISBN 974-7704-69-1. – Volume 3
- [Penth 2004] PENTH, Hans: *A brief History of Lan Na*. 3. Phra Pokklao Road, Tambon Si Phoum, Mueang
Chiang Mai 50200, Thailand : Chiang Mai City Arts and Cultural Centre, 2004. – ISBN 974-9575-66-0
- [Poulsen u. Valbo-Jorgensen 2001] POULSEN, Anders F. ; VALBO-JORGENSEN, John: Deep Pools in the Me-
kong River. In: *Mekong Fisheries Network Newsletter* ISSN 0859-290X, Vol. 7, No.1 (2001), September, S.
1–3
- [Renner 2004] RENNER, Volker: Technische und wirtschaftliche Konzepte für flussangepasste Binnenschif-
fe / Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschifffahrt, Versuchsanstalt für Binnen-
schiffbau e.V., Duisburg. 2004 (Bericht 1704). – Forschungsbericht. – Forschungsbericht FE-Nummer:
30.0328/2003

- [Rettemeier u. Söhngen 2015] RETTEMEIER, Katja ; SÖHNGEN, Bernhard: DESIGN GUIDELINES FOR IN-LAND WATERWAYS: Applying Concept Design Method – Practice Approach – Case by Case Design. In: - PIANC - The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure, 2015. – Smart River Conference 2015, Buenos Aires, Argentinien
- [Ringler 2001] RINGLER, Claudia: *Optimal Water Allocation in the Mekong River Basin*. ZEF – Discussion Papers on Development Policy No. 38. Bonn, Deutschland : Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF), 2001
- [RvU 2003] RvU, Regierung von Unterfranken: *Projekthandbuch, Pilotprojekt Bewirtschaftungsplan Main*. Teil C Ergebnisse. : Regierung von Unterfranken, September 2003. – Regierung von Unterfranken mit Unterstützung von SEIB Ingenieur-Consult und unter Mitwirkung von der Projektgruppe Bewirtschaftungsplan Main, Gemeinschaftsprojekt der Bundesländer Bayern, Hessen und Baden-Württemberg
- [Scheubner 2000] SCHEUBNER, Albrecht: Vortrag beim 9. Internationaler Donaukongress, 2000. – 9. Internationaler Donaukongress am 9./10. Dezember 2000 in Niederalteich, Deutschland
- [Sirichote u. Khiaotai 2014] Persönliche Kommunikation mit Herrn Krit Khiaotai (นายกฤษ เขียวดำย) und Herrn Suranat Sirichote (นายสุรนาท ศิริโชติ) vom Marine Department in Chiang Saen am 2. Juli 2014. Während des Gespräches wurden statistische Daten zu übergeben (Anzahl der Schiffe, Entfernungen vom Hafen Chiang Saen zu anderen Häfen, Informationen zu Abmessungen der Frachter). Weitere Daten wurden am 28. Juli 2014 übergeben.
- [Smyth 1895] SMYTH, Herbert W.: *Notes of a Journey on the Upper Mekong, Siam*. White Lotus (1998) von Walter E. J. Tips. 50, Albemarle Street, London, Großbritannien : John Murray for The Royal Geographical Society, 1895
- [Starr 2004] STARR, Peter: *The People's Highway: Past, Present and Future Transport on the Mekong River System*. Mekong Development Series No. 3. P.O. Box 6101, 184 Fa Ngoum Road, Unit 18, Ban Sithane Neua, Sikhottabong District, Vientiane 01000, Laos : Mekong River Commission, Phnom Penh, 2004. – 44 S. ISSN 1680:4023
- [Stone 2011] STONE, Richard: Mayhem on The Mekong. In: *Science* 333 (2011), August, Nr. 6044, S. 814–818. – ISSN doi: 10.1126/science.333.6044.814
- [Swinson 2012] SWINSON, Kenneth W.: *Analysis of Georeferenced Sonar-Based Thalweg and Cross-Sectional River Depth Profile Measurements*. Knoxville, USA, The University of Tennessee, Masters Thesis, 2012
- [Söhngen u. Butterer 2015] SÖHNGEN, Bernhard ; BUTTERER, R.: Design Guidelines for Inland Waterways Application of WG 141 Approach including Elaboration of Field Data and Fast Time Simulation for Class Va Vessel passing narrow Jagstfeld Bridge in the German Neckar River PIANC - The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure, 2015. – Smart River Conference 2015, Buenos Aires, Argentinien
- [Söhngen u. Eloit 2014] SÖHNGEN, Bernhard ; ELOIT, Katrien: Sachstand der PIANC Incom WG 141: Bemessungsgrundlage für Binnenwasserstraßen / PIANC - World Congress, San Francisco, USA. 2014. – Forschungsbericht. – PIANC The World Organisation for Waterborne Transport Infrastructure

- [TEAM u. CRU 2004] TEAM, TEAM Consulting Engineering and Management Co., Ltd. ; CRU, Chiangrai Rajabhat University: Umweltverträglichkeitsprüfung im Lancang-Mekong zum Ausbau des Flusses zur Schifffahrtsstraße (การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการปรับปรุงร่องน้ำเพื่อการเดินเรือพาณิชย์ในแม่น้ำล้านช้าง-แม่น้ำโขง) / Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2004. – Forschungsbericht. – รายงานฉบับสมบูรณ์
- [Thailoh 2014] Persönliche Kommunikation mit Herrn Manop Thailoh (นายมานพ ไทยหล่อ), Direktor der Zweigstelle des Department of Water Resources in Chiang Saen, und Mitarbeitern am 27. Juni 2014. Die Zweigstelle ist verantwortlich für die Wasserstandsmessungen am Mekong und die Messungen der Sedimentfracht. Sie verfügt über ein eigenes Labor.
- [TMC 1994] TMC, The Mekong Secretary: *Strategy Study on the Development of Upper Mekong Navigation (Basin Wide), Summary Report*. 1. Interim Committee for Coordination of Investigations of the Lower Mekong Basin c/o Mekong Secretary, Pibultham Villa, Kasatsuk Bridge, Rama I Road, Bangkok 10330, Thailand : The Mekong Secretary, 1994
- [UN-ECAFE 1955] UN-ECAFE, Economic Commission for Asia and the Far East: Note on the Possible Control and Utilization of Water Resources in the Lower Mekong Basin / Bureau of Flood Control and Water Resources Development. 1955 (Flood/13). – Forschungsbericht
- [UN-ECAFE 1957] UN-ECAFE, Economic Commission for Asia and the Far East: Development of Water Resources in Lower Mekong Basin / ECAFE Flood Control Series. 1957 (12). – Forschungsbericht
- [Wassermann u. a. 2010] WASSERMANN, Stefanie ; SÖHNGEN, Bernhard ; DETTMANN, Thorsten ; HEINZELMANN, Christoph: Untersuchungen zur Bestimmung von Fahrrinnenmindestbreiten für Binnenwasserstraßen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Postfach 20 01 00, 53170 Bonn, Deutschland : PIANC Deutschland, Mai 2010, S. 57–67. – XXXII. Internationaler PIANC - Schifffahrtskongress, 11. bis 14. Mai 2010 in Liverpool, Großbritannien
- [Wessels u. a. 2013] WESSELS, Martin ; ANSELMETTI, Flavio ; MAINBERGER, Martin ; HILBE, Michael: *Hydroakustische Methoden, Möglichkeiten und Grenzen zur Langzeitüberwachung archäologischer Denkmale im Flachwasser*. In: Brem et al. (Hrsg), Erosion und Denkmalschutz am Bodensee und Zürichsee. Ein internationales Projekt im Rahmen des Interreg IV-Programmes "Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein" zur Entwicklung von Handlungsoptionen zum Schutz des Kulturgutes unter Wasser Vorarlberg - Museum Schriften 1. Kornmarktplatz 1, 6900 Bregenz, Österreich, 2013. – 271–280 S.
- [Wheeler u. a. 1958] WHEELER, Raymond A. ; DUVAL, Georges ; MCCAMMON, John W. ; KUBUTO, Yutaka ; SAIN, Kanwar ; DARLING, H. V. ; TAN, P.T.: Program of Studies and Investigations for Comprehensive Development Mekong River Lower Basin / United Nations. 1958 (TAA/AFE/3). – Forschungsbericht. – Report of United Nations Survey Mission, Bangkok, Thailand
- [Wood u. a. 2008] WOOD, Spencer H. ; ZIEGLER, Alan D. ; BUNDARNSIN, Tharaporn: Floodplain deposit, channel changes and riverbank stratigraphy of the Mekong River area at the 14th-Century city of Chiang Saen, Northern Thailand. In: *Geomorphology* 101 (2008), S. 510–523

- [WSD-Ost 2007] WSD-Ost: *Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße*. Projekt 675. Gerhard-Hauptmann-Straße 16, 39108 Magdeburg, Deutschland : Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, 2007. – 517 S.
- [Wyatt u. Wichienkeeo 1998] WYATT, David K. ; WICHIENTKEEO, Aroonrut: *The Chiang Mai Chronicle*. Second Edition. 6 Sukkasem Road, T. Suthep, Chiang Mai 50200, Thailand : Silkworm Books, 1998. – ISBN 978-974-7100-62-4. – Volume 1
- [Xue u. a. 2010] XUE, Zuo ; LIU, J. P. ; GE, Qian: Changes in hydrology and sediment delivery of the Mekong River in the last 50 years: connecting to damming, monsoon, and ENSO. In: *Earth Surface and Landforms* 36 (2010), June, S. 296–308 (2011). – ISSN doi:10.1002/esp.2036
- [Yang u. a. 2006] YANG, Guangcheng ; GNABANHDITH, Souphanh ; NGWE, Hla ; SAIPET, Jarun: *The Navigation Charts of the Upper Mekong River*. : Joint Committee on Coordination of Commercial Navigation on the Lancang-Mekong River (JCCCN) among China, Laos, Myanmar and Thailand, 2006
- [Zanke 1982] ZANKE, Ulrich: *Grundlagen der Sedimentbewegung*. 1. Auflage. Hannover, Deutschland : Springer Verlag, 1982. – ISBN 3-540116-72-9
- [Zanke 1994] ZANKE, Ulrich: Zur Entwicklung eines numerischen Modells mit beweglicher Sohle. In: *Wasser und Boden* 12 (1994), June, S. 28–31
- [Zanke 1995] ZANKE, Ulrich C. E.: Sachstandsbericht zur Entwicklung eines numerischen Modells mit beweglicher Sohle / Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt. Rundeturmstraße 1, 64283 Darmstadt, Deutschland, 1995. – Forschungsbericht. – I. Sohle aus gleichförmigen Sediment II. Sohle aus ungleichförmigen Sediment
- [Zanke 2003] ZANKE, Ulrich C. E.: *Validations-Dokument Timor3*. Rundeturmstraße 1, 64283 Darmstadt, Deutschland : Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt, 2003. – 52 S.
- [Zanke 2004] ZANKE, Ulrich C. E.: Kann Hiddensee durchbrechen? Morphodynamische Simulationen im Ostseebereich. In: *Jahrbuch der Hafenbautechnik* Ges. 54 (2004)
- [Zanke 2008] ZANKE, Ulrich C. E.: *On Application of Morphodynamic Acceleration in Morphodynamic Simulations*. Mitteilungen: Heft 144. Rundeturmstraße 1, 64283 Darmstadt, Deutschland : Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 2008. – 50 S. – Sonderheft zum Chinese German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering (JOINT 2008)
- [Zanke u. Mewis 2002] ZANKE, Ulrich C. E. ; MEWIS, Peter: Morphodynamisches Simulationssystem TIMOR. In: *Wasser und Boden* 54. Jahrgang; Heft 4 (2002), S. 14–22
- [Zhou 2011] ZHOU, Xiaoyan: *Morphodynamic Response of Yangtze River Estuary to Sea Level Rise and Human Interferences*. Mitteilungen: Heft 148. Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt, Deutschland : Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 2011. – 181 S. – ISBN 3-936146-28-4

GESAMTVERZEICHNIS

der bisherigen „Technischen Berichte über Ingenieurhydrologie und Hydraulik“

*Bestellungen beim
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
Franziska-Braun-Straße 7, D-64287 Darmstadt*

- | | |
|--|---|
| Nr. 1/1965
H. Lacher | (vergriffen)
Über das Kriechverhalten destillierter Bitumina unter Zugrundelegung der Theorie der linearen Viskosität |
| Nr. 2/1966
J. Bock | Einfluß der Querschnittsform auf die Widerstandsbeiwerte offener Gerinne |
| Nr. 3/1967
P. Unger | (vergriffen)
Berechnung instationärer Abflußvorgänge in natürlichen Gerinnen unter Verwendung eines von der Gerinneform unabhängigen Rauigkeitsmaßes |
| Nr. 4/1968
W. Tiedt | (vergriffen)
Berechnung des laminaren und turbulenten Reibungswiderstandes konzentrischer und exzentrischer Ringspalte |
| Nr. 5/1969
R. Schröder
B. Scherer | Häufigkeitsanalyse hydrologischer Daten
Unverzerrtes Hele-Shaw-Modell für instationäre Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche |
| Nr. 6/1970
D. Krause | Einfluß der Trassierungselemente auf den Spiegelverlauf in gekrümmten Schussrinnen |
| Nr. 7/1971
W. Tiedt | Hydrodynamische Untersuchung des Teilfüllungsproblems, Gesetzmäßigkeiten des Abflusses in technisch rauhen Kreisgerinnen bei laminarer und turbulenter Strömung |
| Nr. 8/1972
M. T. Monzavi | Widerstandsgesetz auf statistischer Basis für extreme natürliche Rauigkeiten in Druckrohren |
| Nr. 9/1973
B. Scherer | Die Entwicklung und Anwendung eindimensionaler Modelle der zweidimensionalen Grundwasserbewegungen in Fluß-, Graben- und Drainnähe |
| Nr. 10/1973
diverse Autoren | (vergriffen)
Sammlung von Kurzberichten 1965 – 1972 |

- Nr. 11/1974** (vergriffen)
 E. Zäschke Widerstandsmindernde Wirkung hochmolekularer Zusätze beim Transport Newtonscher Flüssigkeiten in geschlossenen Leitungen
 R. Schröder u. Über das hydraulische Widerstandsverhalten von Beton- und Stahlbeton-
 D. Knauf rohren im Übergangsbereich
 H. Lacher Konstruktionshilfe für Strömungsnetze ebener Potentialströmungen mittels Elementarströmungen
 H. Lacher u. Einfluß von Teilfüllungsgrad und von Wanddicke des porösen
 M. T. Monzavi Rohrmantels auf die Ergiebigkeit von Betonfilterrohren
 H. Lacher u. Untersuchung zur Ermittlung der Abflußleistung poröser Betonfilterrohre
 K. J. Ueker unter natürlichen Bedingungen
 G. Euler u. Berechnung von Hochwasserabläufen mit Näherungsverfahren und
 A. Koussis Anwendung
 H. Lacher Neuere Methoden der Wissensvermittlung im Fach „Hydraulik“, erläutert am Lehrbeispiel „Hydrostatik räumlich gekrümmter Oberflächen“
- Nr. 12/1974**
 H. J. Dallwig Fließformeln und Formbeiwert - eine kritische Untersuchung üblicher
 Berechnungsmethoden für Gerinneströmungen
 R. Schröder Wirkung periodischer Wandwelligkeiten auf den Strömungswiderstand
- Nr. 13/1974** (vergriffen)
 D. Belke Die statistische Analyse von Grundwasserständen mit dem Ziel der Extremwertprognose
- Nr. 14/1975** (vergriffen)
 G. Euler Die Simulation der Niederschlagsaufteilung für Hochwasserabfluß-Modelle
- Nr. 15/1975**
 A. Koussis Ein verbessertes Näherungsverfahren zur Berechnung von Hochwasserabläufen
- Nr. 16/1975**
 G. Lass Berechnung von Horizontalfilterbrunnen mit beliebig angeordneten Filterrohren
- Nr. 17/1976** (vergriffen)
 D. Knauf Die Abflußbildung in schneebedeckten Einzugsgebieten des Mittelgebirges
- Nr. 18/1977**
 H. Bischoff Die Berechnung von Potentialfeldern mit der Randintegralmethode, dargestellt am Beispiel der ebenen Grundwasserbewegung
- Nr. 19/1977**
 I. David Grundwasserfassungsanlagen mit Filterrohren
- Nr. 20/1977** (vergriffen)
 Diverse Autoren Sammlung von Kurzberichten 1972 - 1977
- Nr. 21/1978**
 O. Gieseler Einfluß der äquivalenten Sandrauhigkeit auf die Lage des Wechselsprungs bei Umlenkung eines frei fallenden runden Flüssigkeitsstrahls an einer ebenen Platte

Nr. 22/1978

- R. Schröder Forschungsarbeiten des Instituts für Hydraulik und Hydrologie
D. Belke u. Simulation zur Nutzraumoptimierung einer Talsperre
G. Euler u. Ein detailliertes mathematisches Modell zur Simulation von Hochwasserwellen am Beispiel der Nidda
- R. Wackermann
T. Brandt Der Austausch von Oberflächen- und Grundwasser
R. Schröder Gestaltung von Offshore-Bauwerken für die Kühlwasserversorgung thermischer Kraftwerke
H. Lacher u. Zum Problem des Regenwasserabflusses auf Fahrbahnen
F. Thiele
W. Tiedt Druckspüler/Spülkasten - ein Beitrag zur Hydraulik zweier Spülsysteme der Sanitärtechnik
O. Gieseler Hydraulische und mechanische Verfahren zur Ermittlung von Rauigkeiten

Nr. 23/1978

- A. Holderbaum Hydraulische Untersuchung zur Ermittlung der Wasserfilmdicken auf berechneten Fahrbahnoberflächen

Nr. 24/1979

- T. Brandt Modell zur Abflußgangliniensimulation unter besonderer Berücksichtigung des grundwasserbürtigen Abflusses

Nr. 25/1980

- N. Könnemann Der wechselseitige Einfluß von Vorland und Flußbett auf das Widerstandsverhalten offener Gerinne mit gegliederten Querschnitten

Nr. 26/1981

- R. Wackermann Ein Rasterverfahren mit flächenvariabler Systemfunktion zur Simulation von Hochwasserganglinien aus großen Einzugsgebieten

Nr. 27/1981

- A. Holderbaum Modellversuche zum Abfluß von Niederschlagswasser auf Verwindungs-Strecken

Nr. 28/1982

- H. J. Dallwig Zur Leistungsfähigkeit von Kelchüberfällen

Nr. 29/1982

- R. Schröder In memoriam Hannes Lacher - Geleitwort
H. Lacher Über die viskoelastischen Eigenschaften von destilliertem Bitumen
H. Lacher u. Experimentelle Erfahrungen mit Filterrohren als Grundlage ihrer hydraulischen Bemessung
R. Schröder
H. Lacher Grundwasserabfluß mit freier Oberfläche, Auszug aus dem Textbuch zur Technischen Hydraulik
H. Lacher Anwendung der Randintegralmethode zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von teilgefüllten Rohren
B. Söhngen
H. Bischoff
H. Lacher Verallgemeinertes Berechnungsverfahren nach Dupuit-Forchheimer für Grundwasserleiter beliebig hoher Durchlässigkeit
H. Lacher Anwendung der Feldintegralmethode zur Berechnung der Durchströmung von Steinschüttedämmen
H. Bischoff
B. Söhngen
F. Zior u. Ein neues Meßverfahren für die Bestimmung der Oberflächenrauigkeit von Kanalwandungen
H. Lacher
H. Gerdes u. Die Berechnung dreidimensionaler Grundwasserströmung mit Mitteln der ebenen Potentialtheorie
H. Lacher

Fortsetzung Nr. 29/1982

- | | |
|----------------|--|
| F. Zior u. | Entwicklung einer konduktometrischen Sonde zur Messung von |
| H. Lacher | Wasserfilmdicken auf Fahrbahnoberflächen |
| H. Lacher u. | Schiffahrtsbedingte Wasserdruckausbreitung in Kanalböschungen |
| E. Zäschke | |
| F. Thiele u. | Probleme der Straßenentwässerung und neue Bemessungsmethoden |
| H. Lacher | Die Berechnung der Ergiebigkeit von Drainagesystemen in horizontal |
| B. Söhngen, | ausgedehnten Grundwassersystemen |
| H. Bischoff u. | |
| H. Lacher | Zur Begründung der Konzentrationszeit aus der Sicht der Hydraulik |
| H. Lacher | Humor im Wasserbaulichen Versuchswesen: Versuchsanordnung zur |
| | Bestimmung der äquivalenten Sandrauhigkeit von Steinzeugrohren |

Nr. 30/1983

- | | |
|-----------------|--|
| Diverse Autoren | Sammlung von Kurzberichten 1978 - 1983 |
|-----------------|--|

Nr. 31/1983

- | | |
|-----------|---|
| F. Thiele | Fahrbahnlängsentwässerung im Straßengerinne und ein Entwurf für |
| | zukünftige Richtlinien zur Bemessung |

Nr. 32/1984

- | | |
|----------|---|
| U. Höfer | Beginn der Sedimentbewegung bei Gewässersohlen mit Riffeln oder |
| | Dünen |

Nr. 33/1985

- | | |
|----------------|---|
| G. Euler | Die Berechnung des Schmutzwasserabflusses aus Niederschlägen: |
| C. Heinzelmann | Eine vergleichende Darstellung und Wertung der Modellansätze |
| D. Jacobi | |

Nr. 34/1985

- | | |
|-----------|--|
| H. Gerdes | Berechnung dreidimensionaler Grundwasserströmung mit Mitteln der |
| | ebenen Potentialtheorie am Beispiel des Sickerstollens |

Nr. 35/1986

- | | |
|-----------------|---|
| Diverse Autoren | Stofftransport im Wasser - Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium |
| | 1985: Zusammenstellung der Referate |

Nr. 36/1986

- | | |
|-------------|--|
| R. Schröder | Diskontinuierliche Abflußvorgänge in Freispiegelrinnen: Randwalzen |
| R. Schröder | Die turbulente Strömung im freien Wechselsprung: Deckwalze |
| C. Kraus | Walzenbildung im Kolk |

Nr. 37/1987

- | | |
|----------------|---|
| C. Heinzelmann | Transportbeginn auf geriffelter Sohle unter dem Einfluß einer stationär |
| U. Höfer | gleichförmigen Strömung mit überlagerter Schwallwelle |

Nr. 38/1987

- | | |
|---------|---|
| F. Zior | Regenwasserabfluß auf Fahrbahnoberflächen: experimentelle und |
| | theoretische Untersuchungen |

Nr. 39/1987

- | | |
|------------|---|
| B. Söhngen | Das Formbeiwertkonzept zur Berechnung des Fließwiderstandes in Rohren |
| | und Gerinnen |

Nr. 40/1988

Diverse Autoren Lösungsansätze zu aktuellen Problemen im Wasserbau - Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1987: Zusammenstellung der Referate

Nr. 41/1987

G. J. Weiß Abfluß- und Wasserstandssteuerung in offenen Gerinnen mit Hilfe selbstregulierender Schwimmkörper

Nr. 42/1989

H. Zaiß Simulation ereignisspezifischer Einflüsse des Niederschlag-Abfluß-Prozesses von Hochwasserereignissen kleiner Einzugsgebiete mit Niederschlag-Abfluß-Modellen

Nr. 43/1990

Diverse Autoren Hydraulik und Hydrologie im Stadtbauwesen - Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1989: Zusammenstellung der Referate

Nr. 44/1990

H. Wegner Steuerung für kleine Hochwasserschutzräume

Nr. 45/1991

U. Drechsel Repräsentanz und Übertragbarkeit von Niederschlagsersatz-belastungen zur Durchführung von Schmutzfrachtberechnungen

Nr. 46/1991

J. Lang Analyse und Simulation des Feuchtekontinuums auf Straßenoberflächen

Nr. 47/1992

G. J. Weiß Sohlenbeanspruchung und Sedimenttransport unter Einzelwellen

Nr. 48/1992

C. Heinzelmann Hydraulische Untersuchung über den Einfluß benthischer Diatomeenfilme auf Strömungswiderstand und Transportbeginn ebener Sandsohlen

Nr. 49/1993

J. Kühlborn Wachstum und Wanderung von Sedimentriffeln

Nr. 50/1995

M. Schuster Transportkritische Schubspannungen bei verschiedenen Sohlenzuständen, insbesondere unter Einzelwellenbelastung bei stationärer Grundströmung

Nr. 51/1993

(vergriffen)

Diverse Autoren Dezentraler Hochwasserrückhalt - Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1992: Zusammenstellung der Referate

Nr. 52/1994

N. Engel Hydrologische Simulation der Abflußtransformation in Kanalisationsnetzen

Nr. 53/1995

Diverse Autoren Die modellgestützte Bewirtschaftung intensiv genutzter Einzugsgebiete - Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1994: Zusammenstellung der Referate

Nr. 54/1996

S. Wallisch

Ein mathematisches Modell zur Berechnung der hydromechanischen Beanspruchung von Riffelsohlen

GESAMTVERZEICHNIS (ISSN 0340-4005)
der bisherigen Wasserbau-Mitteilungen der TH Darmstadt
(teilweise Kurztitel)

*Bestellungen beim
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
Franziska-Braun-Straße 7, D-64287 Darmstadt
Selbstkostenpreis EURO 20,- je Heft*

- Heft 1/März 66** (vergriffen)
Bassler, F. Vorwort des Herausgebers
Linder, R. Hochwasserentlastung von Staustufen durch Schiffsschleusen
Bassler, F. Beginnt die Epoche der Gezeitenkraftwerke?
Elshazli, S. Die Bedeutung der Wasserkraft für die ägyptische Wirtschaft
- Heft 2/Juli 67** (vergriffen)
Uhlig, D. Probleme des landwirtschaftlichen Wasserbaus in Lybien
Bassler, F. Eindrücke vom ICID-Kongreß in Indien
Sauer, H.-D. Zentral messendes Wasserstands-Registriergerät für Modelle mit instationärer Strömung
Bassler, F. Die Nutzung von Meerwasser in der Kattara-Senke/Ägypten
- Heft 3/Dez. 68** (vergriffen)
Müller, J. Weltregister der Pumpspeicherkraftwerke
Bassler, F. Wasserwirtschaftliche Sonderaufgaben in Entwicklungsländern
Bayer, E. Die Versuchseinrichtungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Mäder, Ch. Die Exkursionen des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Bassler, F. Scheme for Qattara Depression/Egypt
- Heft 4/Aug. 69**
Bayer, E. Gestaltung der Rampenbauwerke für Flussfähren
- Heft 5/Nov. 69**
Sauer, H.-D. Industriewasserentnahme aus schwebstoffreichen Flüssen
- Heft 6/Okt. 70**
Schröder, W. Ausbaugefällebemessung alluvialer Bachstrecken nach dem Sandtransportvermögen
- Heft 7/Febr. 71**
Müller, J. Auswirkungen eines Unterbeckens für Pumpspeicherung auf die Wasserwirtschaft
Bassler, F. Nuklearausbruch und Pumpspeicherung als Kostenfaktoren der Wasserkraftanlage in der Kattara-Senke/Ägypten
- Heft 8/Juli 71**
Bassler, F. 10 Jahre Lehre und Forschung in Wasserbau und Wasserwirtschaft an der Technischen Hochschule Darmstadt
Mäder, Ch. Modellversuche zur Umgestaltung des Mains bei Aschaffenburg
Schmidtke, R. Projektstudie zur Regelung des Rio Mantaro in der Hochebene von Huancayo/Peru
Schröder, W. Projektstudie zur Ufersicherung am Amazonas bei Iquitos/Peru
Sulser, P. Gedanken zu den Exkursionen eines Wasserbaulehrstuhls

Fortsetzung Heft 8/Juli 71

- Täubert, U. Modellversuche für Hochwasserentlastungsanlage Staudamm Poza Honda/Ecuador
Uhlig, D. Das Bewässerungsprojekt Al Hassa/Saudi Arabien
Bassler, F. Studieneinführung Bauingenieurwesen, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

Heft 9/Nov. 71

- Mäder, Ch. Strömungen durch Luftblasenschleier in stehenden und fließenden Gewässern

Heft 10/Aug. 72

- Schmidtke, R. Ein Kostenzurechnungsmodell für wasserwirtschaftliche Mehrzweckprojekte

Heft 11/Dez. 73

- (vergriffen)
Sulser, P. Berührungslose Wasserstandsmessung mittels kontinuierlicher Kondensatorumladung
Börner, R. Internationale Pumpspeicherbibliographie 1900 bis 1960
Bassler, F. Solar Depression Power Plant of Qattara/Egypt
Täubert, U. Der Abfluß in Schußrinnenversuchen
Bassler, F. Pumpspeicherkraftwerke an schiffbaren Wasserstraßen u. a.

Heft 12/Apr. 74

- Täubert, U. Wasserwirtschaftliche Systemanalyse des Wärmehaushalts von Flüssen

Heft 13/Dez. 75

- (vergriffen)
Bassler, F. Neue Vorschläge für die Entwicklung der Kattara-Senke/Ägypten
Bassler, F. New Proposals to Develop Qattara Depression/Egypt
Börner, R. Moorentwässerung in Finnland
Börner, R. Internationale Pumpspeicherbibliographie 1961 bis 1965
Gräb, E. Konstruktion und Umbau einer Kipprinne
Sulser, P. Die Wasserbau-Exkursionen des Instituts in den Jahren 1970 bis 1975, Forschungsvorhaben und Veröffentlichungen 1970 bis 1975

Heft 14/März 77

- Kriesel, E. Wasserwirtschaftliche Aspekte thermischer Energiequellen

Heft 15/Mai 77

- Börner, R. Einsatzmöglichkeiten der Mehrzweckpumpspeicherung in Entwicklungsländern

Heft 16/Juli 77

- (vergriffen)
Franzius, V. Der Sickerwasserabfluß aus Mülldeponien - Ein mathematisches Modell

Heft 17/ Aug. 77

- (vergriffen)
Tönsmann, F. Verringerung des Feststoffbetriebs in Entnahmebauwerken an Bächen

Heft 18/Dez. 77

- (vergriffen)
Bassler, F.D. ie Energiequellen Fluss- und Meerwasser
Bassler, F. Speisung der Schiffahrtskanäle mit Scheitelhaltung
u.a.
Bassler, F. 100 Jahre Bauingenieurwesen Arab Republic of Egypt : Qattara Depression
Bassler, F. Tätigkeiten als Ordinarius für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Heft 19/Dez. 78

- Sulser, P. Drucklufteinleitung in Flüsse zur Steuerung des Geschiebetransports

- Heft 20/Juni 79** (vergriffen)
Friedrich Bassler 70 Jahre/Ansprache und Aufsätze zu seiner Emeritierung
- Heft 21/März 81**
Döring, M. Einflüsse der Wassernutzung thermischer Kraftwerke auf Gewässer
- Heft 22/Aug. 83**
Albert, W. Solarteich - Kollektor und Wärmespeicher
Gonsowski, P. Bodenluftkompression bei Wasserinfiltration
Gonsowski, P. Selbstdichtung von Fließgewässern
Kaiser, W. Modellversuch HW-Entlastung Sösetalsperre
Wieland, H.
Krier, H. Erfahrungen bei Beregnungsanlagen im Hessischen Ried
Krier, H. Erosionsbeginn bei kohäsiver Wasserlaufsohle
Wieland, H. Modellversuch zur Hochwasser-Entlastung der Kulmke-Sperre/Harz
- Heft 23/Sep. 84** (vergriffen)
Kaiser, W. Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzzonen
- Heft 24/Feb. 85** (vergriffen)
Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1984 „Hochwasser am Oberrhein“
- Heft 25/Aug. 87**
Wieland, H. Hydraulische Bemessung von Tosbecken für Überfallstrahlen und der Druckbelastung der Sohle
- Heft 26/Feb. 87** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1986 „Planungsansätze Ökologie - Wasserwirtschaft, so nicht! - wie dann?“
- Heft 27/Juli 87**
Krier, H. Zum Langzeiterosionsverhalten kohäsiver Fließgewässersohlen
- Heft 28/Sep. 87**
Gonsowski, P. Der Einfluß der Bodenluftkompression auf die vertikale Infiltration von Wasser in Sanden
- Heft 29/Dez. 89** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1988 `Fließgewässer – Stillgewässer
- Heft 30/Dez.89** (vergriffen)
Albert, W. Die Gebietsverdunstung von Waldstandorten aus der Simulation von Grundwasserganglinien mit klimatischem Bodenwasserhaushaltsmodell
- Heft 31/Feb. 90**
Weiß, J. Berücksichtigung der Hysterse der Wasserspannung bei der Berechnung der vertikalen Wasserbewegung in natürlichen Sandböden
- Heft 32/März 90** Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Josef Mock

- Heft 33/Aug. 90**
Theune, Ch. Hydrological and Economical Aspects of Agronomically Productive Percolation Systems
- Heft 34/Dez. 90** (vergriffen)
Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1990
Umweltverträglichkeitsprüfung in der Wasserwirtschaft
- Heft 35/Nov. 91** (vergriffen)
Nuding, A. Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit Ufergebüsch - Entwicklung eines Fließgesetzes für Fließgewässer mit und ohne Gehölzufer, unter besonderer Berücksichtigung von Ufergebüsch
- Heft 36/Dez. 91** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1991 „Boden- und Grundwasserschutz - anwendungsorientierte Forschung und Verfahren“
- Heft 37/März 92**
Zimmermann, E. Phänomenologische Untersuchungen bei der Erosion einer kohäsiven Sohle
- Heft 38/Dez. 93** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1993 `Ökologisch orientierte Gewässersanierung und -pflege
- Heft 39/Dez. 93**
Ruiz
Rodriguez, E. Bodenluftströmung in teilgesättigten Böden
- Heft 40/Dez. 95** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1995 „Hochwassergefahren am Oberrhein“ und Fachseminar „Abflußabhängigkeit der morphologischen und biologischen Verhältnisse von Fließgewässern bei Niedrigwasser“
- Heft 41/Juli 99**
von der Hude Die Kapillarsperre als Oberflächenabdichtungssystem von Deponien und Altlasten - Rinnenversuche und Bemessungsregeln

Die Reihe der „Wasserbau-Mitteilungen der TH Darmstadt“ wird zusammen mit den „Technischen Berichten über Ingenieurhydrologie und Hydraulik“ als **„Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt“** (ISSN 1430-3434) fortgesetzt. Die neue Nummerierung ergibt sich aus der Summe der Hefte beider Vorgängerreihen.

Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt

GESAMTVERZEICHNIS (ISSN 1430-3434)

Selbstkostenpreis EURO 20,- je Heft. Bestellungen beim

*Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
Franziska-Braun-Straße 7, D-64287 Darmstadt*

oder

*Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
Franziska-Braun-Straße 7, D-64287 Darmstadt*

- Heft 96/1996** (vergriffen)
Träbing, K. Ökomorphologische Kenngrößen für die Strukturvielfalt von Fließgewässern
- Heft 97/1997**
Jelinek, D. Die Kapillarsperre als Oberflächenbarriere für Deponien und Altlasten - Langzeitstudien und praktische Erfahrungen in Feldversuchen
- Heft 98/1997** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1996 `Numerische Simulationen im Wasserbau
- Heft 99/1997** Berichte zur Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
- Heft 100/1998**
Kilian, T. Abflußcharakteristika und potentiell natürliche Gerinnegrundrißformen hessischer Fließgewässer
- Heft 101/1997**
Döring, M. Die römische Wasserleitung von Pondel im Val d'Aosta/Italien. Bestandsaufnahme des Bauwerks aus dem Jahre 3 v. Chr.
- Heft 102/1998**
Schmidt, T.R. Einfluß der Wandrauigkeitsstruktur auf die Geschwindigkeitsverteilung ausgebildeter, turbulenter Strömungen in Kreisrohren
- Heft 103/1998** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1997 „Betrieb und Steuerung von Speichern und Stauhaltungen unter sich ändernden Randbedingungen“
- Heft 104/1998**
Bettmann, T. Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und deren Auswirkungen auf die Regenwasserbehandlung in urbanen Gewässereinzugsgebieten
- Heft 105/1998**
Seid, A.H. Modelling the Influence of Shrinkage Cracks on Overland Flow
- Heft 106/1999** (Nachdruck)
Zanke, U. Zur Physik von strömungsgetriebenem Sediment (Geschiebetrieb)
- Heft 107/1999**
Obermann, I. Modellierung des Wasserhaushaltes von Deponien vorbehandelter Siedlungsabfälle

Heft 108/1999	Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 1998 Mischwasserbehandlung - Planung, Prüfung, Vollzug -
Heft 109/2000 Kämpf, M.	Fließprozesse in Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten - Grundlagen zur hydraulischen Bemessung
Heft 110/2000 Lempert, M.	Ein GIS gekoppeltes rasterbasiertes Modell zur Berechnung des Wasserhaushaltes kleiner Einzugsgebiete
Heft 111/2000	(vergriffen) Darmstädter Wasserbauliche Kolloquium 1999 „Fließ- und Ausbreitungsvorgänge in aquatischen Grenzräumen“
Heft 112/2000	100-Jahr-Feier des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft mit Festvortrag von Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. J. Plate
Heft 113/2000 Mehler, R.	(vergriffen) Mischwasserbehandlung - Verfahren und Modellierung
Heft 114/2000 Lenk, M.	(Nachdruck) Hydraulische Austauschvorgänge zwischen fließender Welle und Interstitial - Felduntersuchungen in einer Pool-Riffle-Sequenz an der oberen Lahn
Heft 115/2000 Saenger, N.	(Nachdruck) Identifikation von Austauschprozessen zwischen Fließgewässer und hyporheischer Zone
Heft 116/2000 Sieker, H.	Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten
Heft 117/2001 Hailu, D.	Optimal planning and water management of irrigation systems
Heft 118/2001 Lohr, H.	Simulation, Bewertung und Optimierung von Betriebsregeln für wasserwirtschaftliche Speichersysteme
Heft 119/2001 Bente, St.	Eine Software-gestützte Methodik zur Voreinschätzung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen von Maßnahmen der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung
Heft 120/2001 Zanke, U.	Zum Einfluß der Turbulenz auf den Beginn der Sedimentbewegung
Heft 121/2002 Hirschhäuser, T., Zanke, U.	Morphologische Langfristprognose für das System Tidebecken-Außensände am Beispiel Sylts und der Dithmarscher Bucht
Heft 122/2002	Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 2000 Integrierte Gewässerbewirtschaftung in Verwaltung, Wissenschaft und Praxis
Heft 123/2002 Kraus, T.	Rauheitsänderung durch Biofilmbewuchs in Druckrohrleitungen
Heft 124/2002 Luckner, T.	Zum Bewegungsbeginn von Sedimenten

- Heft 125/2002**
Holfelder, T. Temperaturbeeinflusste Transportprozesse in Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten
- Heft 126/2003**
Mewis, P. Morphodynamisch-numerische Modellierung von Flußkurven
- Heft 127/2003**
Wetzstein, A. Berechnung von Entlastungsabflüssen an gedrosselten Streichwehren auf der Basis von gemessenen Wasserständen
- Heft 128/2003**
Hirschhäuser, T. Sedimentologische und biologische Aspekte der morphodynamischen Modellierung von Tidebecken
- Heft 129/2003** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 2003 „Hochwasserschutz“
- Heft 130/2003** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 2001
Aktuelle Themen aus Hydromechanik, Wasserbau und Hydrologie
- Heft 131/2003**
Witting, M. Simulation von Küstenlängs- und Küstenquertransport im 2DH-morphodynamischen Modell TIMOR3
- Heft 132/2003**
Krebs, M. Untersuchung instationärer oszillierender Strömungen in buhnenverbauten Flußabschnitten und ihre Bedeutung für morphodynamische Berechnungen
- Heft 133/2004**
Kudo, Eiji Sustainable Water Management in an Urbanizing River Basin in Japan, Based on Integrated Modeling Technique
- Heft 134/2005**
Gebrewubet, Y. Numerical Modeling of Koka Reservoir Sedimentation
- Heft 135/2006**
Schadrac, I. Nouvelle approche méthodologique pour l'analyse de la sécurité hydrologique des barrages en contexte sahélien soumis à une variabilité climatique
- Heft 136/2006**
Link, O. Untersuchung der Kolkung an einem schlanken zylindrischen Pfeiler in sandigem Boden
- Heft 137/2006**
Muschalla, D. Evolutionäre multikriterielle Optimierung komplexer wasserwirtschaftlicher Systeme
- Heft 138/2006**
Klawitter, A. Ein Modellkonzept zur integrativen Betrachtung von Urban- und Ruralhydrologie auf Einzugsgebietsebene
- Heft 139/2006** Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium / DWA-Seminar 2005
„Feststofftransportmodelle“
- Heft 140/2006**
Wurpts, A. Numerische Simulation von Dichteeffekten am Beispiel der Umlagerung von Baggergut im Ästuarbereich

- Heft 141/2007**
Seydell, I. Einlagerung von Feinstoffen in eine Flusssohle und Wasseraustausch zwischen Fluss und Interstitial – Naturuntersuchungen an einer Kiesquerbank der Lahn bei Marburg
- Heft 142/2007**
Döring, M. Römische Häfen, Aquädukte und Zisternen in Campanien: Bestandsaufnahme der antiken Wasserbauten
- Heft 143/2007**
Winterscheid, A. Szenariotechnik im Hochwasserrisikomanagement
- Heft 144/2008**
Zanke, U.C.E. On Applicability of Morphodynamic Acceleration in Morphodynamic Simulations
- Heft 145/2009**
Schröter, K.A. Contribution to the Uncertainty Analysis of Distributed Hydrological Models
- Heft 146/2009**
Roland, A. Entwicklung von WWM II -Zur Seegangmodellierung auf unregelmäßigen Gitternetzen-
- Heft 147/2009**
Wiesemann, J.-U. Zum Sedimenttransport auf quergeneigter Sohle
- Heft 148/2009**
Zhou, X. Morphodynamic Response of Yangtze River Estuary to Sea Level Rise and Human Interferences
- Heft 149/2011**
Diab, R. ExperimentallInvestigation on Scouring around Piers of different Shape and Alignment in Gravel
- Heft 150/2015**
Nasner, H. Sedimentation in Brackwasserhäfen
Pieper, R.
Torn, P.
- Heft 151/2015**
Kubetzek, T. Erosion an geotextilbewehrten Deichen bei langeinstauenden Hochwassern und Deichüberströmung
- Heft 152/2016**
Schneider, S. Funktionsanalyse und Wirkungsoptimierung einer Wasserdruckmaschine
- Heft 153/2017**
Dietsch, H. Entwicklung des Mekong in eine bedeutende internationale Schifffahrtsstraße

ISSN-Nr.: 1430-3434